

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

---

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y GEOGRAFIA  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



## DIAGNOSTICO HIDROGEOLÓGICO-GEODINÁMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO-ANTA

Tesis presentada por:

Br. ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GOMEZ  
Br. MICHAEL CONTRERAS APARICIO

Para optar el título profesional de:  
INGENIERO GEOLOGO

Asesor:  
Mgt. JUAN CARLOS ASCUE CUBA

Auspicio:  
CONSEJO DE INVESTIGACIÓN - UNSAAC

CUSCO - PERÚ  
2011

## DICTAMEN FINAL DE TESIS

**REFERENCIA** : N 207804, Resolución N 015-2011-D-FIGG  
**ASUNTO** : Dictamen Final de Tesis  
**INTERESADOS** : Br. Michael Contreras Aparicio  
: Br. Ery Alain Ortiz de Orue Gomez  
**FECHA** : 04 de Marzo del 2010

---

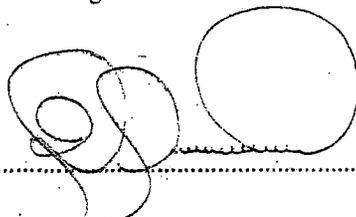
Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica

La comisión Revisadora de Borrador de Tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo, Titulada "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO-GEODINAMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO-ANTA" presentado por los Bachilleres Michael Contreras Aparicio y Ery Alain Ortiz de Orue Gomez Se ha Reunido a la fecha y después de constatar el levantamiento de todas las Observaciones. Esta Comisión Opina Favorablemente para su Sustentación.

La tesis presentada por los interesados contiene principalmente los siguientes aportes:

- 1.- Se hace conocer la Geología de detalle de nuevas áreas de investigación.
- 2.- Presenta un Diagnostico de la Hidrología e Hidrogeología del área investigada para aplicaciones futuras en diferentes obras de infraestructura.
- 3.- Se presenta un análisis Geodinámico de la zona, que posteriormente servirán para planificar la Gestión de riesgos de las áreas investigadas.
- 4.- Presenta una serie de medidas Estructurales y no Estructurales para el plan de adecuación frente a desastres naturales en la zona involucrada.

Es cuanto informamos para los fines consiguientes.



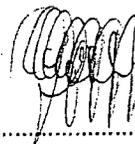
Ing. Ruperto Benavente Velázquez

PRESIDENTE



Ing. Carlos Barrientos Guzmán

Primer Dictaminante



Ing. Juan Carlos Ascue Cuba

Segundo Dictaminante

Universidad Nacional San Antonio	
Abad del Cusco	
Facultad de Ing. Geológica y Geografía	
04 MAR. 2011	
Reg. _____	Hora: _____
FIRMA: _____	

## **PRESENTACIÓN**

El presente trabajo de investigación denominado **“DIAGNOSTICO HIDROGEOLÓGICO – GEODINÁMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO - ANTA”**, que fue elaborado para optar al Título Profesional de **INGENIERO GEÓLOGO**, en nuestra Primera Casa de Estudios **UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOGRAFÍA – CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**; está orientado a realizar el diagnostico hidrogeológico – geodinámico con fines de determinar los parámetros hidrogeológicos; reducir y estimar el nivel de riesgo de los eventos naturales ocurridos en la microcuenca Cachimayo, a través de la identificación del peligro y el análisis de vulnerabilidad, trascendiendo a la elaboración de mapas de peligros geológicos para establecer políticas de prevención y mitigación de riesgos naturales en la microcuenca Cachimayo.

En la ejecución del presente trabajo, se realizo una revisión bibliográfica sobre la geomorfología, hidrología, litología y estructural de las formaciones geológicas en la microcuenca, posteriormente se identificaron y ejecutaron los ensayos de campo y laboratorio, obteniéndose de esta manera los datos experimentales de parámetros hidrogeológicos y zonificación de riesgos geológicos en el área de estudio.

Atentamente

Ery Alain Ortiz de Orue Gomez

Michael Contreras Aparicio

## DEDICATORIA

Al **SR. COYLLOR-RUTTI**, por  
iluminarme y guiarme en mi existencia.

A mis padres: **ERIBERTO y LIDIA**;  
quienes me brindaron en todo momento  
su amor, comprensión y el esfuerzo  
intenso para que yo salga adelante.

A mis hermanas: **LIDIANE y LISETTE**;  
quienes me brindaron todo el apoyo  
moral, su comprensión y me dieron  
fuerzas en cada momento.

A la memoria de mis abuelos **AUGUSTO,**  
**BASILIA y ALEJANDRO**; y en presente a  
mi abuela **YOLANDA**; por todo el cariño  
que me brindaron.

A mis **TIOS Y PRIMOS**, por  
incentivarme a seguir a adelante.

A mi amigo **JOSE PABLO** y a todas las  
personas que siempre estuvieron  
conmigo, en los buenos y malos  
momentos y me brindaron todo su apoyo.

**Ery Alain Ortiz de Orue Gomez**

# DEDICATORIA

Al señor de Qoylloriti, a la Virgen de  
Guadalupe y Niño Compadrito por ser  
Los autores de mi existencia y que me  
Han Demostrado que su amor y guía  
Nunca Me abandonaron.

A mi Padre Nicasio Contreras y Mi Madre  
Alcira que con sus consejos supieron guiarme para hacer  
lo correcto en mi vida y agradecerles por apoyarme y  
comprenderme y estar conmigo en todas las etapas de mi  
vida y nunca olviden que los Amo y respeto

A mis hermanos Franz, Pamela, Mauricio  
y Beto con los cuales compartimos momentos  
Buenos y Malos lo cual no olvidare ya que  
Ellos Fueron muchas veces la razón para no  
rendirme y Seguir adelante y fueron ellos  
quienes moldearon Mi Carácter como hermano.

A mis Abuelos Donato y Aurelia y mi tío Alberto  
Q.E.P.D quienes esperaron verme como Ingeniero, Así  
que esta Tesis va por ellos personas que compartieron mi  
niñez y confiaron en verme y sé que lo hacen desde el  
cielo muchas gracias por todo.

Al señor Francisco Paucar y John Paul los  
cuales abrieron las puertas de su hogar y  
en donde encontré un tesoro, a la mujer  
más maravillosa del mundo la cual con su  
amor y comprensión me guio en este  
camino, gracias por ser como eres y  
por creer en mí, te amo mi Liz Pamela.

A mis amigos de la Universidad, Miguel  
Nilton, Derry, Lucho, Rolando, Marco,  
Zulma, Mery, Maribel quienes marcaron  
Una etapa de vida y en donde se encuentren  
Gracias por la amistad y por los años que  
Compartimos.

**MICHAEL CONTRERAS APARICIO**

## **AGRADECIMIENTO**

Un profundo agradecimiento a Dios por la posibilidad de brindarnos la oportunidad de realizar nuestro sueño de ser profesional.

Expresamos nuestra mayor gratitud al Ing. Mgt. Juan Carlos Ascue Cuba, por compartir conocimientos y experiencias valiosamente recibidas durante la asesoría de la presente tesis. De la misma manera nuestro profundo agradecimiento a los Ingenieros Dictaminantes, pues sus aportes han permitido enriquecer el presente trabajo.

A todos los docentes de nuestra Carrera Profesional de Ingeniería Geológica, quienes con sus conocimientos y consejos hicieron posible nuestra formación profesional durante la trayectoria de nuestra vida universitaria.

A todos aquellos amigos y compañeros que directa e indirectamente han participado en el avance, progreso y finalmente en la culminación de nuestra carrera profesional y también en la elaboración del presente trabajo.

## **RESUMEN**

La zona de estudio se ubica en el Departamento del Cusco, Provincia de Anta, Distritos de Cachimayo, Pucyura, Anta, Huarcocondo, Zurite y Ancahuasi; corresponde a la microcuenca de Cachimayo; es accesible por la vía asfaltada Cusco-Abancay, y vía ferrea Cusco-Ollantaytambo. La microcuenca Cachimayo por encontrarse entre los 3200 y 4300 msnm., pertenece a las zonas de vida Bosque seco montano bajo subtropical, Bosque húmedo montano subtropical y Páramo muy húmedo subandino subtropical.

Geomorfológicamente se ubica en parte de la Pampa de Piuray – Maras, Meseta de Chinchaypucyo, Depresión de Anta (Altiplanicies) y Cordillera Oriental; donde se distinguen unidades geomorfológicas locales como terrazas bajas, colinas y montañas. La microcuenca de Cachimayo tiene un área de 455.24 km<sup>2</sup>, perímetro de 109.92 km, de forma sinuosa y alargada, con una densidad de drenaje 0.34, es decir la microcuenca es pobremente drenada y una pendiente media de 33.24%.

La geología local de la zona de estudio está caracterizada por presentar al Grupo Yuncaypata, San Jerónimo, la Formación Anta, Volcánico Tacaza, Formación Chincheros, Formación Rumicolca, Formación San Sebastián, así como los depósitos aluviales y fluviales; la zona de estudio presenta un sistema de fallas de orientación NW-SE, E-W y NE-SW, y se encuentra plegada.

La precipitación calculada en la zona de estudio, con datos obtenidos de 38 años de registro (1970 – 2007) es de 832.1 mm, con una temperatura promedio de 11.12 °C, cuya evaporación real es de 523 mm, la escorrentía superficial es de 409.88 mm y su infiltración es de 75.8 mm; con cuyos datos se llegó al Balance hídrico que presenta un déficit de 176.58 mm.

La Formación Anta y el Grupo San Jerónimo constituyen los acuíferos más importantes de la microcuenca por presentar amplios afloramientos, sus potencias

y sus características petrofísicas que son óptimas para la acumulación y flujo de las aguas subterráneas. Del análisis de potabilidad de las muestras de afloramientos de agua, en su mayoría se encuentran dentro de los rangos potables para el consumo humano, a excepción del Aforo Machaybamba, que no es potable, pero sí aceptable para el uso agrícola.

El peligro sísmico es el sistema de fallas sísmogénicas activas de la región del Cusco, la falla de Zurite es directamente responsable de los eventos sísmicos ocurridos en la microcuenca Cachimayo. Los principales procesos de geodinámica externa ocurridos en la zona de estudio, son las caídas de rocas, flujos, deslizamientos, movimientos complejos, erosiones fluviales, erosión de laderas e inundaciones.

De la evaluación de riesgos realizado por el método de la matriz de peligro y vulnerabilidad, la microcuenca se ha zonificado en cuatro áreas de riesgo: riesgo muy alto, riesgo alto, riesgo medio y riesgo bajo.

Del modelo descriptivo de Batelle, que durante la ejecución de obras de prevención en la microcuenca Cachimayo, la calidad ambiental con los proyectos es de un 58% y sin los proyectos la calidad ambiental es de 36%. La contaminación y alteración del río Cachimayo identifica que el agua del río es apta para riego de vegetales y para bebida de animales y por la elevada carga bacteriológica proveniente de la fábrica de Cachimayo condiciona su uso, es decir son aguas no aptas para el consumo humano y un 80% de basura producida por la población tiene como destino los ríos.

Presentación	
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	

## INDICE

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN.....	1
1.2 DELIMITACIÓN.....	1
1.3 ACCESIBILIDAD.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	3
1.6 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	4

### CAPITULO II

#### GEOMORFOLOGIA

2.1 GENERALIDADES.....	6
2.2 CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA.....	6
2.2.1 ANÁLISIS DE PENDIENTES.....	6
2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	8
2.3.1 ALTIPLANICIES.....	8
2.3.1.1 DEPRESIÓN DE LIMATAMBO.....	9
2.3.1.2 MESETA DE CHINCHAYPUCYO.....	9

2.3.1.3	DEPRESIÓN DE ANTA.....	10
2.3.1.4	PAMPA DE PIURAY-MARAS.....	11
2.3.1.5	MONTAÑAS DEL CUSCO.....	11
2.3.2	CORDILLERA ORIENTAL.....	11
2.4	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	12
2.4.1	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	12
2.4.1.1	PLANICIES.....	13
2.4.1.1.1	TERRAZAS BAJAS.....	13
2.4.1.1.1.1	CAUCE FLUVIAL.....	13
2.4.1.1.1.2	LLANURA AUVIAL.....	13
2.4.1.1.1.3	CONOS ALUVIALES.....	14
2.4.1.2	MONTAÑAS.....	14
2.4.1.2.1	COLINAS.....	14
2.4.1.2.1.1	COLINAS BAJAS.....	15
2.4.1.2.1.2	COLINAS ALTAS.....	15
2.4.1.3	MONTAÑAS.....	16
2.4.1.3.1	VERTIENTE POCO EMPINADA.....	16
2.4.1.3.2	VERTIENTE EMPINADA.....	16
2.4.1.3.3	VERTIENTE MUY EMPINADA.....	17
2.5	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	17
2.5.1	ÁREA DE LA MICROCUENCA.....	17
2.5.2	PERÍMETRO DE LA MICROCUENCA.....	17
2.5.3	CARACTERÍSTICAS DE SU FORMA.....	18
2.5.3.1	ÍNDICE DE COMPACIDAD.....	18
2.5.3.2	FACTOR DE FORMA.....	18
2.5.4	CARACTERÍSTICAS DE SU RELIEVE.....	19
2.5.4.1	ALTITUD MEDIA DE LA MICROCUENCA.....	19
2.5.4.2	DESNIVEL ABSOLUTO DE LA MICROCUENCA.....	19
2.6	PARÁMETROS HIDROMORFOMETRICOS.....	19

2.6.1 SISTEMA DE DRENAJE.....	20
2.6.2 LONGITUD DE TRIBUTARIOS.....	20
2.6.3 DENSIDAD DE DRENAJE.....	21

## **CAPITULO III**

### **GEOLOGIA GENERAL**

3.1 INTRODUCCIÓN.....	22
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	22
3.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	23
3.3.1 GRUPO YUNCAYPATA.....	23
3.3.1.1 FORMACIÓN MARAS.....	23
3.3.1.2 FORMACIÓN AYAVACAS.....	24
3.3.1.3 FORMACIÓN PUQUIN.....	25
3.3.2 SERIES ROJAS.....	25
3.3.3 GRUPO SAN JERONIMO.....	26
3.3.3.1 FORMACIÓN KAYRA.....	27
3.3.3.2 FORMACIÓN SONCCO.....	27
3.3.4 FORMACIÓN ANTA.....	28
3.3.5 VOLCÁNICO TACAZA.....	29
3.3.6 FORMACIÓN CHINCHEROS.....	30
3.3.7 FORMACIÓN RUMICOLCA.....	30
3.3.8 FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN.....	31
3.3.9 DEPÓSITOS ALUVIALES.....	31
3.3.10 DEPÓSITOS FLUVIALES.....	32
3.3.11 ROCAS INTRUSIVAS.....	32
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	33
3.4.1 FALLAS.....	33
3.4.1.1 FALLA ZURITE.....	33

3.4.1.2 FALLA TAMBOMACHAY.....	34
3.4.1.3 FALLA QORICOCHA.....	34
3.4.2 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE LAS SECCIONES ESTRUCTURALES.....	36
3.4.3 PLIEGUES.....	37
3.4.3.1 ANTICLINAL DE ZURITE.....	37
3.4.4 TECTÓNICA.....	37
3.4.4.1 TECTÓNICA ANDINA.....	38
3.4.4.1.1 FASE INCAICA.....	38
3.4.4.1.2 FASE QUECHUA.....	39
3.4.4.2 NEOTECTÓNICA.....	39

## **CAPITULO IV**

### **HIDROLOGIA**

4.1 GENERALIDADES.....	41
4.2 CUANTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HIDROLÓGICO.....	42
4.2.1 PRECIPITACIÓN.....	42
4.2.1.1 MEDIDA DE LA PRECIPITACIÓN.....	42
4.2.1.2 VALIDACIÓN DE LOS DATOS Y OBTENCIÓN DE SERIES DE PRECIPITACIÓN	43
4.2.1.3 CALCULO DE VOLUMEN DE AGUA PRECIPITADO SOBRE LA CUENCA.....	50
4.2.2 TEMPERATURA.....	52
4.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	54
4.2.3.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.....	55
4.2.4 CIRCULACIÓN.....	56
4.2.4.1 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	57
4.2.5 INFILTRACIÓN.....	58
4.2.6 BALANCE HÍDRICO DE LA MICROCUENCA.....	59

## **CAPITULO V**

### **HIDROGEOLOGIA**

5.1 GENERALIDADES.....	60
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROGEOLÓGICO	60
5.2.1 ACUÍFEROS.....	61
5.2.2 ACUITARDOS.....	61
5.2.3 ACUICLUDOS.....	61
5.2.4 ACUIFUGOS.....	62
5.3 TIPOS DE ACUÍFEROS.....	62
5.3.1 ACUÍFERO POROSO SEMI-CONSOLIDADO.....	63
5.3.2 ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS.....	64
5.3.3 ACUÍFEROS FISURADOS.....	64
5.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	64
5.4.1 POROSIDAD.....	65
5.4.2 PERMEABILIDAD.....	66
5.4.3 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.....	68
5.5 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA MICROCUENCA.....	70
5.5.1 ACUÍFEROS.....	70
5.5.1.1 ACUÍFERO ANTA.....	71
5.5.1.2 ACUÍFERO SAN JERONIMO.....	71
5.5.1.2.1 ACUÍFERO KAYRA.....	71
5.5.1.3 ACUÍFERO SAN SEBASTIÁN.....	72
5.5.1.4 ACUÍFEROS FLUVIALES.....	72
5.5.1.5 ACUÍFEROS Y ACUITARDOS ALUVIALES.....	73
5.5.2 ACUITARDOS.....	73
5.5.2.1 ACUITARDOS MARAS Y ACUÍFEROS AYAVACAS.....	74
5.5.2.2 ACUITARDOS QUILQUE Y CHILCA.....	74
5.5.3 ACUIFUGOS.....	74

5.5.3.1 ACUÍFUGO PUQUIN.....	75
5.6 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.....	75
5.7 CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS.....	76
5.7.1 ANÁLISIS QUÍMICO.....	77
5.7.2 EQUIVALENTE QUÍMICO.....	78
5.7.3 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS POR IONES DOMINANTES.....	79
5.7.4 DIAGRAMAS LOGARÍTMICOS DE POTABILIDAD.....	81

## **CAPITULO VI**

### **GEODINAMICA**

6.1 GEODINÁMICA INTERNA.....	87
6.1.1 SISMICIDAD.....	88
6.1.1.1 SISMICIDAD LOCAL.....	88
6.1.1.2 CATALOGO SÍSMICO LOCAL Y REGIONAL.....	90
6.1.1.3 RIESGO SÍSMICO.....	91
6.1.1.3.1 PELIGRO SÍSMICO.....	92
6.1.1.3.2 MÉTODO DETERMINISTICO.....	92
6.2 GEODINÁMICA EXTERNA.....	94
6.2.1 PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASAS.....	94
6.2.1.1 CAÍDAS.....	94
6.2.1.1.1 CAÍDAS DE ROCAS.....	95
6.2.1.2 DESLIZAMIENTOS.....	95
6.2.1.2.1 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL.....	96
6.2.1.2.2 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL.....	97
6.2.1.3 FLUJOS.....	98
6.2.1.3.1 FLUJO DE DETRITOS.....	99
6.2.1.4 MOVIMIENTOS COMPLEJOS.....	99
6.2.1.5 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS.....	101

6.2.1.5.1 EROSIÓN DE LADERAS.....	101
6.2.1.5.2 EROSIÓN FLUVIAL.....	102
6.2.1.5.2.1 FACTORES GEOLÓGICOS.....	102
6.2.1.5.2.2 FACTORES HIDROGEOLÓGICOS.....	102
6.2.1.5.3 HUNDIMIENTOS.....	103
6.2.2 PELIGROS HIDROLÓGICOS Y ATMOSFÉRICOS.....	104
6.2.2.1 INUNDACIONES.....	104
6.2.3 FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS (NATURALEZA Y ANTROPICOS).....	105

## **CAPITULO VII**

### **ZONIFICACION DEL PELIGRO GEOLOGICO**

7.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	108
7.1.1 IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	109
7.2 ASPECTOS TEÓRICOS-CONCEPTUALES.....	110
7.2.1 PELIGRO.....	110
7.2.1.1 CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO.....	110
7.2.1.2 CAUSAS DE LOS PELIGROS.....	112
7.2.1.2.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA DEL TALUD.....	112
7.2.1.2.2 LITOLOGÍA DE LAS ROCAS Y TIPO DE SUELO.....	112
7.2.1.2.3 GRUPO DEL DESARROLLO MORFOLÓGICO DEL TALUD.....	112
7.2.1.2.4 CAMBIOS DE GRADO Y FORMA DE SATURACIÓN.....	113
7.2.1.2.5 GRADO DE TECTONISMO-VIBRACIONES.....	113
7.2.1.2.6 METEORIZACIÓN O INTEMPERISMO.....	114
7.2.1.2.7 FACTORES ANTROPICOS.....	114
7.2.2 DIAGNOSTICO DE LOS PELIGROS.....	115
7.2.3 IDENTIFICACIÓN Y GRADO DE LOS PELIGROS.....	116
7.2.4 VULNERABILIDAD.....	118

7.2.4.1 GRADOS DE VULNERABILIDAD.....	119
7.3 ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y RIESGO EN LA MICROCUENCA.....	120
7.3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN.....	120
7.3.1.1. FACTORES PERMANENTES.....	121
7.3.1.2 FACTORES VARIABLES.....	121
7.4 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES.....	122
7.4.1 ÁREAS VULNERABLES A CAÍDAS DE ROCAS.....	123
7.4.2 ÁREAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS, MOVIMIENTOS COMPLEJOS Y HUNDIMIENTOS.....	124
7.4.3 ÁREAS VULNERABLES A FLUJOS.....	125
7.4.4 ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN DE LADERAS.....	125
7.4.5 ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN FLUVIAL E INUNDACIONES.....	125
7.5 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES Y DE INFRAESTRUCTURA.....	126
7.5.1 INFRAESTRUCTURA CRÍTICA.....	127
7.6 CALCULO DEL RIESGO.....	127
7.6.1 CALCULO DEL RIESGO CENTROS POBLADOS.....	129

## **CAPITULO VIII**

### **MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O CORRECTIVAS**

8.1 INTRODUCCIÓN.....	131
8.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES O DE PREVENCIÓN.....	131
8.2.1 ¿CÓMO PUEDEN IDENTIFICARSE ZONAS AMENAZADAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS?.....	131
8.2.2 ¿CÓMO DEBE EFECTUARSE LA EVACUACIÓN?.....	132
8.2.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	132
8.2.3.1 PARA ÁREAS CON DESLIZAMIENTOS.....	132
8.2.3.1.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN.....	134
8.2.3.2 PARA ÁREAS CON INUNDACIONES Y FLUJOS.....	134

8.2.3.2.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES.....	135
8.2.3.3 OTROS FENÓMENOS DE MOVIMIENTO DE MASAS .....	136
8.2.3.4 PARA SISMOS.....	137
8.2.4 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN.....	138
8.2.5 RESPONSABLES DE LA PREVENCIÓN.....	138
8.3 MEDIDAS ESTRUCTURALES O CORRECTIVAS.....	139
8.3.1 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA MINIMIZAR LAS CAÍDAS DE ROCAS.....	139
8.3.1.1 PANTALLAS ESTÁTICAS.....	140
8.3.1.2 PANTALLAS DINÁMICAS.....	140
8.3.1.3 ANCLAJES.....	140
8.3.2 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA DESLIZAMIENTOS.....	141
8.3.2.1 TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL TALUD.....	141
8.3.2.2 ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO.....	142
8.3.2.3 ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	142
8.3.3 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA INESTABILIDAD EN LADERAS Y TALUDES	142
8.3.4 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA ÁREAS CON INUNDACIONES Y FLUJOS....	144
8.3.4.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN.....	144
8.3.4.1.1 PERMANENTES.....	144
8.3.4.1.2 EMERGENCIA.....	144
8.3.4.1.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES.....	145

## **CAPITULO IX**

### **IDENTIFICACION Y PROBLEMATICAS DE IMPACTOS AMBIENTALES**

9.1 GENERALIDADES.....	146
9.1.1 PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN BATELLE.....	146
9.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	147
9.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA.....	148
9.2.1.1 EXPANSIÓN URBANA DESORDENADA.....	148

9.2.1.1.1 NECESIDAD DE VIVIENDA DE LOS POBLADORES.....	149
9.2.1.1.2 LIMITADA APLICACIÓN DE PLANES Y POLÍTICAS DE DESARROLLO URBANO.....	149
9.2.1.2 DEFICIENTE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	149
9.2.1.2.1 DÉBIL CONOCIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	150
9.2.1.2.2 INCIPIENTE ORGANIZACIÓN PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL	150
9.2.1.3 DEFICIENTE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO.....	150
9.2.1.3.1 INSUFICIENTE RECURSO HÍDRICO.....	151
9.2.1.3.2 DISMINUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS ACUÍFEROS.....	151
9.2.1.3.3 DEMANDA INSATISFECHA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO Y RIEGO.....	152
9.2.1.4 VERTIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS SIN TRATAMIENTO.....	153
9.2.1.5 POBLACIONES EN ZONAS VULNERABLES.....	155
9.2.2 EFECTOS DEL PROBLEMA.....	155
9.2.2.1 DETERIORO Y DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	156
9.2.2.2 LA EROSIÓN DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES EN ZONAS VULNERABLES.....	157
9.2.2.3 LA PÉRDIDA PAULATINA DE LAS FUENTES DE AGUA.....	158
9.3 PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL.....	159
9.3.1 DISEÑO.....	159
9.3.2 METODOLOGÍA.....	160
9.3.2.1 MONITOREO DEL RECURSO AGUA.....	161
9.3.2.2 MONITOREO DEL RECURSO AIRE.....	161
9.3.2.3 MONITOREO DEL RECURSO SUELO.....	162
9.3.2.4 MONITOREO AMBIENTAL DE FLORA Y FAUNA.....	162
9.3.2.5 MONITOREO AMBIENTAL DEL PAISAJE.....	163
9.3.2.6 MONITOREO DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN.....	163

9.3.2.7 MONITOREO DE LA DINÁMICA DE LA POBLACIÓN.....	163
9.3.3 LA SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO.....	164
CONCLUSIONES.....	167
RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFIA.....	171
ANEXOS	

## **RELACION DE MAPAS**

- MAPA DE UBICACIÓN Nº 1
- MAPA DE CLIMA Y VEGETACIÓN Nº 2
- MAPA DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Nº 3
- MAPA DE GEOMORFOLOGÍA LOCAL Nº 4
- MAPA DE SISTEMA DE DRENAJE – HIDROLÓGICO Nº 5
- MAPA DE GEOLOGÍA REGIONAL Nº 6
- MAPA DE GEOLOGÍA LOCAL Nº 7
- MAPA DE ESTRUCTURAL Nº 8
- MAPA DE SECCIONES ESTRUCTURALES Nº 9
- MAPA DE HIDROGEOLOGÍA Nº 10
- MAPA DE AFOROS DE AGUA Nº 11
- MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES Nº 12
- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A CAÍDAS Nº 13
- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS, MOVIMIENTOS  
COMPLEJOS Y HUNDIMIENTOS Nº 14
- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A FLUJOS Nº 15
- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN DE LADERAS Nº 16
- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN DE FLUVIAL E  
INUNDACIONES Nº 17
- MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES Nº 18

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 UBICACIÓN**

La microcuenca de Cachimayo, se ubica a 15 km al noroeste de la ciudad del Cusco, en la jurisdicción de los distritos de Cachimayo, Pucyura, Anta, Zurite, Ancahuasi y Huarcoondo, provincia de Anta y departamento del Cusco. (Mapa: 01).

Geográficamente la microcuenca de Cachimayo, se encuentra al noroeste de las Altiplanicies limitando con la Cordillera Oriental de los Andes del Sur del Perú, con una altitud promedio de 3795 msnm., cuyo centro de gravedad presenta las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud: 13° 27' 45"
- Longitud: 72° 10' 30"

#### **1.2 DELIMITACIÓN**

La microcuenca de Cachimayo, físicamente se encuentra limitada por las microcuencas de:

- Por el Norte delimita con la microcuenca Sambor
- Por el Sur delimita está delimitada por las microcuencas de Chequemayo y San José
- Por el Oeste está delimitada por las microcuencas de Colorado y Silque
- Por el Este delimita con la microcuenca Poroy.

### **1.3 ACCESIBILIDAD**

Para acceder a la microcuenca, se cuenta con las siguientes vías:

- Vía asfaltada de primer orden Cusco - Anta - Abancay, a una distancia aproximada de 15 km del Cusco, en un tiempo de recorrido de 30 minutos.
- Así mismo se accede por vía férrea Cusco – Ollantaytambo, con una distancia aproximada de 19 km del Cusco, en un tiempo de recorrido de 50 minutos.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el diagnóstico hidrogeológico – geodinámico, con fines de determinar los parámetros hidrogeológicos; reducir y estimar el nivel de riesgo de los eventos naturales ocurridos en la microcuenca Cachimayo, a través de la identificación del peligro y el análisis de vulnerabilidad.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar las características litológicas, estructurales y geodinámicas de las formaciones geológicas (unidades permeables e impermeables), los puntos de surgencia de aguas subterráneas, el cálculo de parámetros hidrogeológico, la hidrogeoquímica de las aguas, elaborando con ello el mapa hidrogeológico de la microcuenca, de donde se desprende mapas de sistemas de acuíferos.
- Identificar los peligros naturales y antropogénicos que afectan y han afectado el área, que permitan evaluar la susceptibilidad de ocurrencia de los mismos.
- Analizar la vulnerabilidad preliminar en la microcuenca Cachimayo.

- Efectuar la zonificación de riesgos geológicos preliminar del área de trabajo para la seguridad física de las poblaciones y obras de infraestructura.
- Actualizar el banco de datos de fenómenos de geodinámica externa.

## 1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología utilizada para la elaboración del presente estudio, se dividió en tres etapas, cada una con una metodología específica, por el cual se siguieron criterios en base a las características del área de estudio. La metodología del presente estudio es la siguiente:

- La Primera Etapa, se realizó la revisión bibliográfica correspondiente y la obtención de información cartográfica básica de la zona de estudio, para luego definir las variables, indicadores, métodos y herramientas a usar durante el proceso de evaluación.
- La Segunda Etapa, corresponde al trabajo de campo, en la cual se hicieron todas las mediciones, toma de muestras y cartografiados de mapas base.
- La Tercera Etapa, se realizó en gabinete con trabajos de procesamiento y análisis de la información (variables e indicadores), obtenidas del trabajo de campo y los resultados de análisis de laboratorio (suelos y aguas), los cuales permitieron la formulación de planes de intervención, conclusiones y recomendaciones respectivas.

## 1.6 CLIMA Y VEGETACIÓN

La zona de estudio presenta un clima muy variado durante todo el año; predominando las siguientes características climáticas:

- **Temperatura:** Clima templado a frío, en los meses de Diciembre y Marzo con temperaturas máximas de 21°C y mínimas de 5°C, y las más bajas se

registran en los meses de Mayo y Agosto con máximas de 20°C y mínimas de -3.5°C.

- **Asoleamiento:** La incidencia de rayos es directa, no existiendo volúmenes circundantes que la bloqueen. Las mayores horas de sol se dan durante los meses de Julio y Agosto, con 8 horas de sol promedio por día, determinándose un porcentaje máximo de insolación del 70%.
- **Precipitación Pluvial:** Las lluvias empiezan a partir del mes de Octubre, intensificándose en los meses subsiguientes hasta el mes de Marzo alcanzando un promedio anual de 832.1 mm.
- **Humedad Relativa:** La máxima humedad relativa promedio que se ha registrado es de 76% a 77% que corresponde a los meses de Diciembre a Abril, y la mínima en los meses de Julio y Agosto con un promedio de 62% a 63%.
- **Vientos:** Los vientos predominantes de mayor incidencia corren en dirección Este y Oeste, los de menor incidencia corren en dirección Noreste y Sureste, habiéndose determinado como meses de mayor intensidad los de Julio y Agosto con velocidades máximas de 16 Km/h y como meses menos ventados Diciembre y Enero con velocidades máximas de 11 Km/h.

El fenómeno oceanográfico del Pacífico Sur (El Niño), con recurrencia periódica e irregular en los últimos años, la frecuencia de recurrencia es de 4 a 7 años, los más fuertes ocurridos en los últimos 50 años: 1972, 1982-83, 1997-98, 2001, 2010. Cuando ocurre el evento se producen lluvias torrenciales en el norte del Perú, simultáneamente con sequías que afectan las partes altas del Cusco, Apurímac, Ayacucho, Huancavelica, afectando a los cultivos produciendo afecciones respiratorias en la población (heladas). En la vertiente oriental el Niño 2010, causó grandes daños, principalmente en la cuenca del río Vilcanota, con ocurrencias de flujos (Zurite), deslizamientos de laderas en los valles así como inundaciones, afectando vías de comunicación, áreas agrícolas y poblados.

Según la clasificación climática de zonas de vida del Instituto de Manejo de Agua y Medioambiente - IMA. La microcuenca Cachimayo por encontrarse entre los 3200 y 4300 msnm., pertenece a las zonas de vida Bosque seco montano bajo subtropical, Bosque húmedo montano subtropical y Páramo muy húmedo subandino subtropical, (Mapa: 02):

- **Bosque seco montano bajo subtropical:** Ubica a la depresión de Anta y colinas bajas de montaña, que se encuentra a los 3200 a 3400 msnm., que se caracteriza por la presencia de una vegetación arbórea del género Escallonia, Caesalpina, es propicia para el desarrollo de la actividad pecuaria.
- **Bosque húmedo montano subtropical:** Ubica a las colinas altas de montaña, que se encuentran a los 3400 a los 3600 msnm., que se caracteriza por la presencia de bosques de queuña, t'asta y eucalipto.
- **Páramo muy húmedo subandino subtropical:** Ubica a las montañas por encima de los 3600 msnm., que presenta bosques ralos de c'olli, queuña, escallonia, papas nativas y otros tubérculos (oca, olluco, entre otros), son apropiadas para la crianza del ganado ovino y camélidos sudamericanos.

## CAPITULO II

### GEOMORFOLOGIA

#### 2.1 GENERALIDADES

Desde el punto de vista conceptual la Geomorfología estudia la forma de relieve terrestre teniendo en cuenta su origen, naturaleza de roca, clima y las diferentes fuerzas endógenas y exógenas que de modo general entra como factor constructor del paisaje.

#### 2.2 CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA

##### 2.1.1 ANÁLISIS DE PENDIENTES

Representa los diversos grados de inclinación del relieve terrestre, expresado en gradiente (°) o pendientes (%). Para la determinación de la configuración topográfica del área de estudio, se elaboro un resumen de pendientes, es la cual es la herramienta principal para la determinación de unidades geomorfológicas locales. El resumen de pendientes surge del análisis directo de la base topográfica presentado en el mapa geomorfológico. Para su clasificación se ha tomado la referencia de trabajos anteriores cuya escala de clasificación es la siguiente:

INRENA (%)		INDECI (grados)	
0% - 4%	Suave a ligeramente inclinado	0° - 5°	Muy suave
4% - 8%	Regular a moderadamente inclinado	5° - 10°	Suave
8% - 15%	Mediana a fuertemente inclinado	10° - 15°	Media
15% - 25%	Fuerte a moderadamente empinado	15° - 30°	Moderada
25% - 50%	Muy fuerte a empinado	30° - 60°	Fuerte
50% - 75%	Muy empinado, zonas de escarpa	> 60°	Muy fuerte
> 75%	Muy excesiva		

Cuadro 2.1: Resumen de pendientes en porcentajes y grados. Fuente: INRENA - INDECI

Tomando en cuenta estas dos escalas de análisis, se realizó la comparación entre ellas se propone una tercera que diferencia mejor las zonas de bajo pendiente y alto pendiente, lo que ayuda las variables y clasificaciones de las características topográficas locales.

RANGO		DESCRIPCION	AREA (km <sup>2</sup> )	%
(%)	(grados)			
0% - 4%	0 - 2	Muy suave	66.72	14.58
4% - 8%	2 - 5	Suave	21.05	4.60
8% - 15%	5 - 10	Media	21.6	4.72
15% - 25%	10 - 20	Moderada	11	2.40
25% - 50%	20 - 30	Poco empinada	235.1	51.37
50% - 75%	30 - 50	Empinada	64.4	14.07
75%	> 50	Muy empinada	37.8	8.26
<b>TOTAL</b>			<b>455.24</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 2.2: Clasificación de las características topográficas locales.

Los resultados indican una predominancia de topografía suave a moderada en sus valles y montañas poco empinadas a muy empinadas en sus partes altas, en conclusión se puede, la zona presenta predominancia de pendientes POCO EMPINADAS, los cuales permiten una cierta estabilidad de las laderas y taludes de la topografía de la zona de estudio. (Figura. 1).

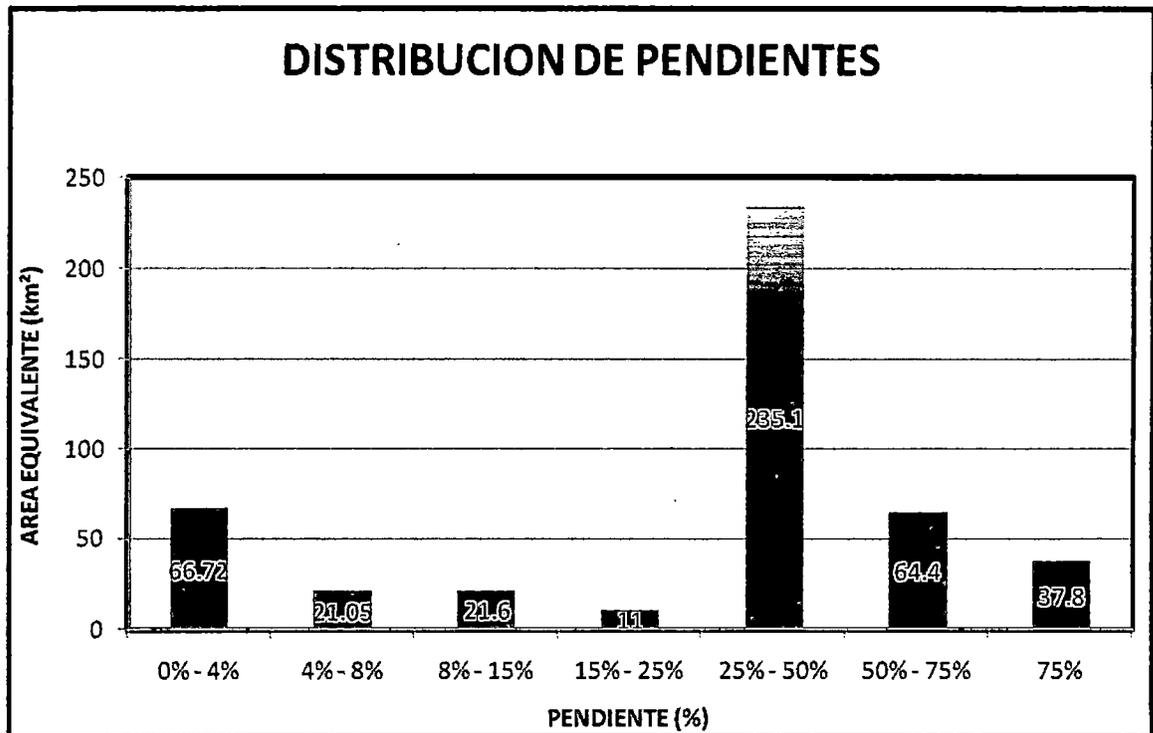


Gráfico 2.1: Distribución de pendientes. Fuente: Elaboración Propia

De la distribución de pendientes, el promedio del porcentaje de pendiente y las áreas equivalentes, la microcuenca de Cachimayo tiene un promedio de pendiente de 33.27%.

## 2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Entre las unidades morfológicas se distinguen las siguientes (Marocco, 1978. Herrera y Vallenas, 1996), (Figura. 2), (Mapa: 03):

### 2.3.1 ALTIPLANICIES

Esta unidad corresponde a una zona con relieves relativamente planos, hacia el norte limita con la Cordillera Oriental. El límite es bastante irregular y se hace a través de varias geoformas.

Las geoformas pueden estar separadas, en algunos casos, por fallas NW-SE. Se han diferenciado las siguientes geoformas:

### **2.3.1.1 DEPRESIÓN DE LIMATAMBO**

Llamada así a una franja de forma alargada paralela al curso del río Colorado, que recorre de NE a SW, cuyas dimensiones son de 10.5 km, de largo y 4.0 km, de ancho aproximadamente (Herrera y Vallenas, 1996); constituye el límite occidental entre las Altiplanicies y la Cordillera Oriental. Sus altitudes varían entre 3600 y 2400 msnm.

El río principal que transcurre en esta depresión es el río Colorado que tiene como tributarios al río Sanidina, río Chaco, río Piste y río Parco. Durante el transcurso del tiempo estos ríos han formado algunas terrazas, que en mayor cantidad se encuentran en el flanco izquierdo del río Colorado (Paredes, 1998), excepto en la quebrada Achaco.

Los valles se encuentran en la fase inicial o joven, se puede observar la presencia de abruptas pendientes y una erosión en “V”, por tanto el valle de Limatambo presenta terrazas fluviales (angostas), con el paso del tiempo han sido utilizados como terrenos agrícolas y de vivienda rural

### **2.3.1.2 MESETA DE CHINCHAYPUCYO**

Constituye el borde Norte de las Altiplanicies propiamente dichas. Constituye un relieve suave y truncado por una superficie de erosión que queda a una altura de 4200 y 4300 msnm. Esta superficie de erosión es la “Superficie Puna” descrita por Bowman (1916) y Mac Laughlin (1924).

La erosión que ha formado esta geoforma, se ha desarrollado sobre los conglomerados de la Formación Anta y rocas volcánicas que sobreyacen a

dicha formación. A los bordes oriental y occidental de esta unidad, afloran areniscas y lutitas del Grupo San Jerónimo y rocas intrusivas del batolito Andahuaylas-Yauri, respectivamente esta superficie ha sido disectada por la erosión esencialmente glaciaria y fluvial.

### **2.3.1.3 DEPRESIÓN DE ANTA**

Es una depresión alargada de dirección WNW-ESE, que tiene una longitud aproximada de 30 km. Esta depresión es amplia en la parte central, donde alcanza los 10 km de ancho, en tanto que hacia los extremos se angosta y se cierra. Es una zona bastante plana situada entre los 3300 y 3400 msnm. El material de relleno es principalmente fluvio-lacustre del Pleistoceno medio al Holoceno (Cabrera, 1988). Estas series se hallan afectadas por algunas fallas reactivadas durante las fases tectónicas cuaternarias. Actualmente, constituye una zona de pastizales y tierras de cultivo.

La depresión está atravesada por el río Cachimayo de SE a N y el río Pitumayo de NW a SE, los que se juntan para formar el río Huarcocondo, que se dirige al norte y desemboca en el río Vilcanota. En esta unidad limita al sur con la Meseta de Chinchaypucyo, al NE con la Pampa de Piuray-Maras, al NW con las vertientes de las montañas de Huayanay a través de una falla E-W y al Oeste con la depresión de Limatambo.

La superficie plana de la depresión se halla interrumpida por algunas colinas intermedias donde destacan la de Catañiray, San Juan y Tambocancha. La colina de Catañiray está constituida por afloramientos de lutitas y yesos del Grupo Yuncaypata y por un cuerpo volcánico shoshonítico, en tanto que, la colina de San Juan, está compuesta por conglomerados de la Formación Anta. La colina de Tambocancha se halla constituida por rocas de la Formación Puquin, conglomerados de la Formación Anta y por algunos intrusivos.

#### **2.3.1.4 PAMPA DE PIURAY-MARAS**

Se trata de un relieve algo plano que se halla a una altura mayor que la Depresión de Anta, variando entre 3600 y 3700 msnm. Esta unidad limita al norte con el río Urubamba. Al este limita con las montañas de Cusco, al sur delimita con la Depresión de Anta y lo hace de una manera progresiva. Al oeste, es con las montañas de Huayanay, a través del valle del río Huarcocondo. Esta Pampa está rellena por secuencias caóticas, con grandes bloques, de la Formación Chincheros de posible edad Pliocena y por series fluvio-lacustres del Pleistoceno de la Formación San Sebastián. Además en la pampa de Piuray – Maras afloran lutitas, calizas y evaporitas del Grupo Yuncaypata.

#### **2.3.1.5 MONTAÑAS DEL CUSCO**

Son cadena de cumbres altas que se hallan al norte de las altiplanicies, al límite con la Cordillera Oriental, al este de la Pampa de Piuray – Maras y la Depresión de Anta.

Las Montañas del Cusco, se hallan separadas cerca a la laguna de Piuray por la prolongación de la Pampa de Piuray – Maras. Su límite norte es directamente con la Cordillera Oriental mediante una falla NW-SE, o través de algunas mesetas intermedias. Su límite sur es con la Meseta de Saqsayhuaman mediante la falla de Tambomachay.

#### **2.3.2 CORDILLERA ORIENTAL**

Es una zona morfo-estructural fuertemente individualizada, ubicado al norte y noroccidental de las altiplanicies. Esta unidad está bordeada por fallas NW-SE. Las partes más elevadas frecuentemente se hallan con glaciares, los que muestran signos de retroceso y evidencian de anteriores glaciaciones. El límite

inferior de las nieves se halla por lo general a 4800 msnm. Además de los glaciares se aprecian circos, valles en U y morrenas.

Las rocas de afloran en la Cordillera Oriental son metamórficas del Paleozoico inferior y rocas volcánicas del Grupo Mitu (Permo-Triásico). Las que se hallan cortadas por rocas intrusivas del Permiano Inferior. La tectónica se manifiesta por pliegues asociados a un metamorfismo, fallas inversas y cabalgamientos.

La Cordillera Oriental, comprende tres cadenas de nevados (Huayanay-Paljay, Pituisiray-La Verónica, Terijuay-Quilloc), la Meseta de Colquepata y los valles Intercordilleranos.

## 2.4 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

### 2.4.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

La diversidad de las formaciones geológicas de edad mesozoica a cenozoica y la presencia de accidentes tectónicos regionales siempre activos, han dado origen a diversas unidades dentro del área de estudio, (Mapa: 04):

GRAN PAISAJE	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
Planicies	Terrazas Bajas	Cauce Fluvial
		Llanura Aluvial
		Conos Aluviales
Montañas	Colinas	Colinas Bajas
		Colinas Altas
	Montañas	Vertiente poco Empinada
		Vertiente Empinada
		Vertiente muy Empinada

Cuadro 2.3: Clasificación de las unidades geomorfológicas locales.

### **2.4.1.1 PLANICIES**

En esta unidad se le designa a la parte más llana o baja del microcuenca, para lo cual se diferenciado otras unidades menores: llanura aluvial, cuyas pendientes varían de llana a moderadamente inclinada (2% a 8%); en la unidad aluvial se ubica en las partes bajas y conos de deyección dentro de la estrecha y ancha franja de la microcuenca.

#### **2.4.1.1.1 TERRAZAS BAJAS**

Superficies planas que varían de llana a moderadamente inclinada entre 2% a 15% de pendiente; designa a la parte más llana o baja de la microcuenca, para lo cual se han diferenciado o clasificado en subunidades diferenciados geomorfológicamente y litológicamente como:

##### **2.4.1.1.1.1 CAUCE FLUVIAL**

Se ubica en los sectores del cauce de los ríos Cachimayo, Cullomayo, Suaray, Jajahuana, Jatunmayo, Huarcoondo, constituidos por arcillas, a limo arcillo arenosos a gravosos, formando una a varias terrazas, suave a ligeramente inclinadas con pendientes de 2% a 4%, sin riesgo de erosión.

##### **2.3.1.1.1.2 LLANURA ALUVIAL**

Se ubica en la franja de piso de la microcuenca, con topografía llana a ligeramente inclinada; formado por acumulaciones de arrastre de materiales en época de lluvias, acumulados desde fines del Pleistoceno hasta ahora, conformada por gravas, arena, limo y arcillas. Con erosión ligera, en las riberas de los ríos en épocas de fuerte precipitación, constituyendo niveles de terrazas fluviales de

sedimentos, con superficies de relieve suave, pendiente de 4% a 8% regular ha moderadamente inclinado.

#### **2.3.1.1.1.3 CONOS ALUVIALES**

Ubicados en las partes bajas de las laderas en ambas márgenes del río Cachimayo, con pendiente inclinada, caracterizadas por su geoforma, originados por la erosión del arrastre y acumulación de material coluvial y aluvial adoptando las formas de conos, que se ubican en la partes medias y bajas de las laderas de las montañas y colinas.

#### **2.4.1.2 MONTAÑAS**

Estas áreas se caracterizan por presentarse con relieve de medianamente inclinadas a relieves muy abrupto de topografía muy accidentada, con pendiente que oscilan desde 8% a mas de 75%.

##### **2.4.1.2.1 COLINAS**

Presentan menor altitud que las montañas que sobresalen de la planicie, con pendientes de 8% a 25% (laderas de medianamente inclinado a moderadamente empinado), cuyas altitudes varían de (3370 a 3500 msnm). Se ubican en los alrededores de los poblados de Cachimayo, Pucyura, Anta y Zurite. Estas colinas son rocas intrusivas de cuarzomonzodiorita, granodiorita y tonalita, así como contactos litológicos de areniscas y limoarcillitas rojas con tobas y brechas grises oscuras.

El relieve de la zona está caracterizado por una topografía colinosa. En el mapa geomorfológico se ha distinguido dos tipos de colinas bajas y altas.

#### **2.3.1.2.2 COLINAS BAJAS**

Son relieves de poca altura, están distribuidas aisladamente en el área y la morfología se ubica en su mayoría en la formación Maras (limoarcillitas y areniscas caóticas con calizas). Estas colinas se ubican en la margen derecha del río Cachimayo desde la localidad de Cachimayo hasta la localidad de Izcuchaca.

Esta unidad es utilizada en la agricultura sin embargo, la tala indiscriminada de la cobertura protectora de sus laderas, viene provocando procesos erosivos.

#### **2.3.1.2.3 COLINAS ALTAS**

Son relieves de moderado a fuertemente empinado, y se encuentran distribuidas en la margen izquierda del río Pitumayo, específicamente al suroeste de la localidad de Zurite.

Esta unidad es utilizada para la forestación de Eucalipto, su carácter morfológico difiere acuerdo a sus contactos litológicos (Formaciones Maras, Puquin y Volcánico Tacaza).

#### **2.4.1.3 MONTAÑAS**

Estas áreas se caracterizan por presentarse con relieve muy abrupto de topografía muy accidentada, moderadamente empinada a muy empinada, con pendiente que oscilan desde 25% a más de 75%, cuyas altitudes varían

entre los (3370 a 4380 msnm), suelos generalmente superficiales y afloramiento del substrato rocoso. Así mismo, la energía de su relieve ha dado lugar en el pasado, al desarrollo de intensos procesos erosivos, algunos de los cuales continúan con diversa intensidad.

Se describen las unidades morfológicas presentes en este tipo de paisaje:

#### **2.4.1.3.1 VERTIENTE POCO EMPINADA**

De pendiente moderadamente empinada de 25% a 50%; se distribuyen generalmente en el área de la parte media a baja de la microcuenca, disectada por quebradas y cárcavas, son formas de terreno que se ubican al pie y laderas de montaña, con topografía ondulada suave, son áreas de origen coluvial, depósitos residuales de rocas sedimentarias lutitas, areniscas y tobas. Que alternan con afloramientos rocosos del substrato geológico más recientes. La erosión actual está ligada a la actividad agrícola, sobrepastoreo y escorrentía superficial sin manejo conservacionista, la erosión de estas es severa, observándose áreas de cárcavas de difícil control; se ubican en los flancos del río Cachimayo y río Pitumayo.

#### **2.4.1.3.2 VERTIENTE EMPINADA**

Relieve de terrenos de topografía moderadamente accidentada con pendientes de 50% a 75%; están distribuidas en las laderas de las montañas, constituidos por terrenos de rocas sedimentarias, predominando afloramientos rocosos de areniscas con intercalaciones de limoarcillitas rojizas, poco resistentes a la acción erosiva, con erosión actual severa. Se ubican en las márgenes de los ríos Suaray y Cullomayo.

### **2.4.1.3.3 VERTIENTE MUY EMPINADA**

Presentan un relieve topográfico muy empinado, con pendientes de mayor a 75%, se extiende en sectores de movimientos tectónicos no así en rocas menos coherentes, también son áreas cubiertas exclusivamente por macizos rocosos de areniscas cuarzo feldespáticas. La actividad agrícola en esta área es menor por tratarse de áreas inapropiadas para esos fines, la erosión actual en el área es severa a extrema, presentan surcos y cárcavas en plena actividad. Su ubicación está en los cerros Pucajasa y San Cristóbal que pertenecen a la Cordillera Oriental.

## **2.5 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS**

Los parámetros geomorfológicos, definen las características del comportamiento del recurso hídrico (escurrimiento, distribución, etc.), así como las causas que de estos se pudieran originar dentro de la microcuenca.

### **2.5.1 ÁREA DE LA MICROCUENCA**

El área total de la microcuenca es la representación superficial de todo el entorno de estudio comenzando a partir de la delimitación del divortium acuarium, habiéndose delimitado en forma directa por mapas digitalizados.

$$A = 455.24 \text{ km}^2$$

### **2.5.2 PERÍMETRO DE LA MICROCUENCA**

Se considera todo el entorno a partir del interfluvio o divortium acuarium y tiene influencia en la forma y tiempo de concentración de la microcuenca.

$$P = 109.92 \text{ km}$$

### 2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE SU FORMA

#### 2.5.3.1 ÍNDICE DE COMPACIDAD

El índice utilizado es el llamado “coeficiente de compacidad de Gravelius” ( $K_c$ ). Este índice es mayor que la unidad, por lo tanto la forma de la microcuenca es sinuosa y alargada, apartándose de la forma circular y las crecientes son consecuencia de las precipitaciones de la parte alta de la microcuenca, concentrándose las aguas en las partes bajas, produciendo algunos desbordes.

$$K_c = 0.282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P= perímetro de la microcuenca en km

A= área de la microcuenca en  $\text{km}^2$

$$K_c = 1.452$$

#### 2.5.3.2 FACTOR DE FORMA

Es el parámetro que indica la forma superficial de la microcuenca por cuanto afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo.

$$Ff = \frac{A}{Ld}$$

Donde:

A = área de la microcuenca en  $\text{km}^2$

Ld = longitud del drenaje principal (33.5 km).

$$Ff = 13.58 \text{ km}$$

## 2.5.4 CARACTERÍSTICAS DE SU RELIEVE

### 2.5.4.1 ALTITUD MEDIA DE LA MICROCUENCA

Representa la altura media de la microcuenca, es un valor indicativo para los cálculos hídricos (escurrimiento superficial).

$$H_m = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2}$$

Donde:

H<sub>max.</sub> = altura máxima (4380 msnm.)

H<sub>min.</sub> = altura mínima (3210 msnm.)

$$H_m = 3795 \text{ msnm.}$$

### 2.5.4.2 DESNIVEL ABSOLUTO DE LA MICROCUENCA

Es la diferencia de altitud que existe entre la altura máxima y la altura mínima que existe en la microcuenca.

$$D = H_{\max} - H_{\min}$$

$$D = 1170 \text{ m}$$

## 2.6 PARÁMETROS HIDROMORFOMETRICOS

A lo largo del área de estudio se ha podido observar un tipo de drenaje dendrítico, siendo el cauce principal el río Cachimayo que tiene como afluentes intermitente. Por lo cual presentan una topografía heterogénea y accidentada.

### 2.6.1 SISTEMA DE DRENAJE

En toda red fluvial hay una jerarquía de los cauces. Se consideran cauces de primer orden (1) los más extremos de la red, que recogen la escorrentía difusa o laminar pero no concentrada. Los cauces de segundo orden (2) son los resultantes de la unión de dos o más segmentos de primer orden, los de tercer orden (3) resultan de la unión de dos o más segmentos de segundo orden. El drenaje colector principal es de cuarto orden (4). (Mapa: 05).

### 2.6.2 LONGITUD DE LOS TRIBUTARIOS

Es una indicación de las pendientes de la microcuenca, así como el grado de drenaje. Las áreas escarpadas y bien drenadas, usualmente tienen numerosos tributarios pequeños, mientras que en regiones planas, donde los suelos son profundos y permeables, se tienen tributarios largos, que generalmente son corrientes perennes.

La longitud de los tributarios se incrementa como una función de su orden. Este arreglo es también aproximadamente una ley de orden geométrica. La relación no es válida para corrientes individuales.

Rio	Longitud (km)
Corimarca	22.3
Cullomayo	13.1
Suaray	18.5
Piñancay	8.4
Pitumayo	38.9
Chaquepay	19.5
<b>Cachimayo</b>	<b>33.5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>154.2</b>

Cuadro 2.4: Longitud de tributarios.

### 2.6.3 DENSIDAD DE DRENAJE

La densidad de drenaje de la microcuenca se define como la longitud media de la red por unidad de superficie.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

Donde:

$D_d$  = densidad de drenaje en  $\text{km}/\text{km}^2$ .

$L_i$  = longitud de un curso del río en km.

$S$  = superficie de la microcuenca en  $\text{km}^2$ .

$\sum L_i$  = suma de longitud, en km., de todos los cursos de agua de la microcuenca, permanentes o no, cualquiera que sea su importancia.

Se considera que una cuenca esta pobremente drenada cuando  $D_d \leq 0,6$   $\text{km}/\text{km}^2$ , y bien drenada si  $D_d > 3 \text{ km}/\text{km}^2$  (Roger J. M. de Wiest, op., cit.).

$$D_d = \frac{154.2 \text{ km}}{455.24 \text{ km}^2}$$

$$D_d = 0.338 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

En conclusión la microcuenca es pobremente drenada.

## **CAPITULO III**

### **GEOLOGIA GENERAL**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La información preliminar para el presente estudio litoestratigráfico se ha considerado información bibliográfica básica de estudios y publicaciones realizados por Gregory (1916), Newell (1948), Marocco (1978); estudios realizados por el INGEMMET en la base geológica del “Cuadrángulo de Urubamba” (V. Carlotto, W. Gil, J. Cárdenas, R. Chávez, V. Vallenás – 1996) y “Cuadrángulo de Cotabambas” (R. Marocco, M. del Pinto, H. Ferro – 1977), (Mapa: 06).

#### **3.2 GEOLOGÍA REGIONAL**

Como marco geológico regional, adyacente al área de estudio, se observan unidades geológicas cuyas edades varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente.

Teniendo de manera generalizada un basamento metamórfico de edad Paleozoica, constituida por la Formación San José; sigue sobreyaciendo una unidad de edad Permo-triasica formada por el Grupo Mitu; el cual marca el fin de la tectónica Herciniana, sobreyace en discordancia erosional al Grupo Copacabana como consecuencia de la tectónica Tardiherciniana; esta unidad está formada por sedimentos Vulcano – sedimentarios.

Seguida del Grupo Yuncaypata conformada por limolitas rojas, areniscas, yesos y calizas de origen marino; marcando el fin a la tectónica Peruana, sobreyaciendo a este grupo están las unidades de edad Paleógeno formados por las Series Rojas y el Grupo San Jeronimo que están constituidas por rocas sedimentarias en secuencias alternas de lutitas, areniscas y conglomerados de origen fluvial,

Formación Anta de conglomerados volcánicos, seguido del volcánico Tacaza y los sedimentos de arenas y gravas de la Formación Chincheros, terminando la fase tectónica Quechua; sobreyaciendo está la Formación San Sebastián y el material cuaternario originado de la erosión de las anteriores unidades litológicas.

### **3.3 GEOLOGÍA LOCAL**

Dentro de la delimitación de la microcuenca Cachimayo, los afloramientos se encuentran desde el Grupo Yuncaypata hasta los depósitos Cuaternarios. (Mapa: 07).

#### **3.3.1 GRUPO YUNCAYPATA**

Anteriormente definido como Formación Yuncaypata (Kalafatovich, 1957), el nombre deriva de la localidad de Yuncaypata que se ubica a 5 km al norte del Cusco. Posteriormente, Carlotto et al., (1991) lo eleva al rango de grupo.

Consiste en Limolitas rojas, areniscas finas, yesos, calizas y sal, de origen marino (Candía & Carlotto, 1996).

El grupo Yuncaypata presenta exposiciones en la parte NE (pampa de Piuray y Maras) SE y W de la zona de estudio.

La edad del Grupo Yuncaypata, está dado entre el Albiano inferior al Maestrichtiano?, y está dividida en cuatro formaciones: Formación Paucarbamba, Maras, Ayavacas y Puquin (Carlotto et al., 1996).

##### **3.3.1.1 FORMACIÓN MARAS**

La Formación Maras, sobreyace concordantemente a la Formación Paucarbamba, cuyos afloramientos se presentan de manera caótica, es decir una mezcla de yesos, lutitas y escasamente calizas, producida por la

deformación de los diapiros de yeso; cuyo grosor total de esta unidad se estima entre 100 a 200 m., y en otros lugares puede pasar los 400 m., debido a efectos tectónicos y diapíricos (Carlotto et al., 1996).

Litológicamente consiste en yeso, anhidritas con calizas, limoarcillitas y areniscas caóticas, y algunos niveles de calizas de 3 a 7 m., de grosor, las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, los yesos de sabkha y las calizas transgresivos (Carlotto, 1992; Carlotto et al., 1996), (Figura. 3).

Aflora ampliamente en la pampa de Piuray-Maras, al noroeste de Zurite. La edad de la Formación Maras es asumida como Albiana media, en base a su posición estratigráfica, sus correlaciones y por infrayacer a las calizas Ayavacas del Albiano superior-Turoniano (Carlotto et al., 1996).

### **3.3.1.2 FORMACIÓN AYAVACAS**

Las calizas Yuncaypata (Kalafatovich, 1957) afloran también de manera caótica, no se las encuentra en una secuencia completa dentro del Grupo Yuncaypata.

La Formación Ayavacas, está compuesto por calizas generalmente dolomitizadas, además presenta facies margosas de color gris oscuras, facies mudstone bioturbadas o no, facies wackestone - packstone más o menos bioclásticas y menos frecuentemente facies grainstone con oolitos de bioclastos o granos de cuarzo. (Carlotto et al., 1996).

Aflora en la pampa Piuray - Maras de manera aislada dentro de la Formación Maras.

La Edad de la Formación Ayavacas o Calizas Yuncaypata, está representado entre el Albiano superior-Turoniano (Carlotto, 1992; Carlotto et al., 1992,1996).

### **3.3.1.3 FORMACIÓN PUQUIN**

La Formación Puquin (Mendivil & Dávila, 1994; Carlotto et al., 1991, 1996), sobreyace a la Formación Ayavacas o Calizas Yuncaypata. Compuesta esencialmente por lutitas negras y rojas, intercaladas con capas de yesos y localmente por capas de areniscas de origen fluvial. Carlotto et al (1996).

Aflora al norte de la localidad de Cachimayo, sur de Zurite y al norte de Limatambo.

### **3.3.2 SERIES ROJAS**

Las series rojas de edad paleocena, descritas por Gregory (1916), Carlotto (1992), Jaillard et al., (1993); están divididas en dos formaciones, la primera es la Formación Quilque y la segunda es la Formación Chilca, separadas por una débil discordancia erosional. Estas Series Rojas sobreyacen en discordancia angular al Grupo Yuncaypata e infrayacen al Grupo San Jerónimo.

La Formación Quilque, es una secuencia grano-estrato creciente de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados formados por la erosión de costras calcáreas. Aflora al NE de la localidad de Cachimayo y al SW de la laguna de Huaypo.

La Formación Chilca, está constituida por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres o sabkha, que pasan gradualmente a areniscas rojas feldespáticas de un sistema fluvial de canales

entrelazados. Aflora en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque, sobreyaciendo en discordancia e infrayaciendo al Grupo San Jerónimo.

La edad de las series rojas está dada entre el Paleoceno inferior – Eoceno inferior.

### **3.3.3 GRUPO SAN JERONIMO**

Una gruesa serie roja de origen continental de más de 6000 metros de grosor conocida como Grupo Sana Jeronimo (Córdova, 1986), aflora ampliamente en la región de Cusco y Sicuani, abarcando también la zona de estudio. Estratigráficamente Córdova (1986), divide el Grupo San Jeronimo en tres formaciones (Kayra, Soncco y Punacancha), sin embargo, Chávez et al., (1992 – 1994) separa a la Formación Punacancha del Grupo San Jerónimo proponiendo las dos formaciones (Kayra y Soncco).

Las formaciones Kayra y Soncco forman un conjunto que esta principalmente constituido, por areniscas feldespáticas intercaladas con limonitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial, se distinguen por su alternancia areniscas – limolitas que resaltan en la topografía, formando secuencias, las que se hallan plegadas. Afloran ampliamente al norte de Zurite (cerro San Cristóbal), y al sur de las localidades de Izcuchaca y Pucyura.

La edad del Grupo San Jerónimo fue muy discutida; Córdova (1986) le asigna la edad de Maestrichtiano-Paleoceno por correlación estratigráfica sobre el Grupo Yuncaypata y la presencia de una posible huella de dinosaurio hacia el techo de la Formación Soncco, Mendivil & Dávila (1994) indican que la edad es de Neocretáceo (Maestrichtiano – Paleoceno), Carlotto et al (1995) por dataciones radiométricas K/Ar sobre plagioclasas le considera la edad de este Grupo como Eoceno medio – Oligoceno inferior; sin embargo Carlotto (2006) realizó dataciones por trazas de fisión en Apatitos, indicando la edad de

Eoceno basal ~52 Ma para la base de la Formación Kayra y Oligoceno inferior ~30 Ma para el techo de la Formación Soncco.

### **3.3.3.1 FORMACIÓN KAYRA**

Está constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas, desarrollado en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación, la parte media superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado, la formación acaba con facies arenopelíticas de llanura de inundación y canales divagantes (Carlotto et al., 1996). En la zona de estudio aflora en mayor dimensión que la formación Soncco, en la quebrada Cullomayo al sur de la localidad de Pucyura aflora con una dirección preferente NW-SE y en cerro San Cristóbal aflora con una dirección E-W y NE-SW, las que están plegadas, (Figura. 4).

Carlotto et al., (1995, 2006) realiza dataciones (ver arriba - Edad del Grupo San Jerónimo), donde le asigna a la formación Kayra la edad de ~52 Ma a ~42 Ma., (Eoceno inferior – Eoceno medio superior).

### **3.3.3.2 FORMACIÓN SONCCO**

La Formación Soncco (Córdova, 1986) sobreyace concordante a la Formación Kayra. La parte inferior está compuesta por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles de areniscas finas y la parte superior está compuesta por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente entrelazado. Aflora en la quebrada Suaray, mas hacia el sur en ambos márgenes de dicha quebrada, con dirección NW-SE.

Carlotto et al., (1995, 2006) con las dataciones realizadas por trazas de fisión, le asigna una edad de ~42 Ma a ~30 Ma (Eoceno medio superior – Oligoceno inferior).

### **3.3.4 FORMACIÓN ANTA**

Aflora ampliamente en el borde norte de la meseta de Chinchaypucyo entre Anta y Limatambo. Esta unidad sobreyace en discordancia indistintamente sobre el Grupo Yuncaypata, las formaciones Quilque y Chilca, el Grupo San Jerónimo o sobre intrusivos del Batolito Andahuaylas – Yauli.

Esta formación está compuesta por conglomerados con clastos esencialmente volcánicos intercalados con areniscas feldespáticas, limolitas rojas y además algunos niveles de brechas y aglomerados volcánicos.

Está dividida en 4 secuencias. La primera secuencia (170 m.) es decreciente y está compuesta por conglomerados de conos aluviales con clastos volcánicos que llegan a los 40 cm. La segunda secuencia (400 m.) es grano decreciente y está compuesta por conglomerados en la base de secuencias menores, que gradan a areniscas feldespáticas; se trata de depósitos fluviales. La tercera secuencia (500 m.) y la cuarta secuencia (250 m.) son también decrecientes y muy parecidas a la segunda secuencia. La particularidad de estas tres últimas secuencias, es que globalmente se hacen crecientes hacia el techo. Internamente se han encontrado discontinuidades y discordancias, que son interpretados como efectos tectónicos sinsedimentarios. El espesor de la unidad es mayor a 1300 m., (Figura. 5).

Respecto a la edad, esta formación no ha proporcionado fósiles y sus relaciones con las rocas suprayacentes e infrayacentes son relativamente claras. La formación Anta muy posiblemente es posterior a la formación Punacancha, por lo que su edad sería del Mioceno inferior-medio y estaría en

relación con el evento tectónico Inca Quechua 1 (Chávez, 1995). Encima de las secuencias sedimentarias, aparecen coladas volcánicas que han sido asumidas al volcánico Tacaza en el cuadrángulo de Cotabambas. Sin embargo, estas coladas deben ser más recientes (Mioceno medio-superior), posiblemente correlacionables con los volcánicos de la formación Tinajani inferior (parte superior) (Au-debaud & Vatin Perignon 1974), con la formación Maure (parte media), los volcánicos Chuntacala y la parte superior del Volcánico Tacaza s.l. (Vatin Perignon et al., 1982).

### **3.3.5 VOLCÁNICO TACAZA**

Sobreyace en discordancia angular a las capas rojas, lo que indica una edad post oligoceno (mioceno medio - plioceno inferior), este grupo aflora ampliamente en la meseta de Chinchaypucyo, en contacto con la Formación Anta, presenta una topografía saliente y están emplazadas en las partes más altas muy resistente a la erosión.

Es una potente serie de 1500-2000 metros de rocas volcánicas piroclásticas intercaladas con algunos bancos de conglomerados, se da el nombre de volcánico Tacaza a esta serie por su posición estratigráfica idéntica a la del volcánico Tacaza del lago Titicaca (Newells, 1949).

Los piroclásticos corresponden a tufos e ignimbritas. Se presentan en bancos de 1 -20 metros de grosor. El corte fresco es gris, blanco y rosado y el color de alteración es gris violáceo. La composición varía de riolítica a andesítica. Los conglomerados afloran a lo largo de la carretera Anta - Chinchaypucyo, presentándose en bancos de 1 a 5 metros de grosor. Los elementos son de areniscas rojas, rocas volcánicas y granodiorita. El tamaño de los rodados varía de 1cm a 20cm de diámetro. La matriz es gruesa arcósica y a veces tufacea. (Figura. 6).

### **3.3.6 FORMACIÓN CHINCHEROS**

La Formación Chincheros (Cabrera, 1988) está formado por secuencia fluvio torrenciales. Su composición litológica y color es a veces confundida, con un conjunto caótico bastante deformado del Grupo Yuncaypata. Este constituido de arenas, gravas que tienen una matriz arcillo-arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen esta formación provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores.

Esta unidad reposa sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular sobre el Grupo Yuncaypata en alrededores de la laguna de Huaypo, y sobre las capas rojas del Grupo San Jeronimo al oeste de la localidad de Huarcocondo.

Cabrera (1988), le asigna una edad Neógena posiblemente Mioceno o Plioceno. Sin embargo, la evolución estratigráfica muestra que esta formación sería Plioceno.

### **3.3.7 FORMACIÓN RUMICOLCA**

Se denomina formación Rumicolca (Mendivil & Dávila, 1994) a un conjunto de cuerpos volcánicos de dimensiones pequeñas que afloran a lo largo del límite entre la Cordillera Oriental y las Altiplanicies, así como al norte de la localidad de Huarcocondo.

Estos cuerpos se hallan marcando una zona de fallas activas (Cabrera, 1988), al límite entre la cordillera oriental y las altiplanicies. Este volcanismo está caracterizado por coladas de lavas de dimensiones pequeñas (0.5 a 5 km<sup>2</sup>) y raros conos de escorias. Todos estos cuerpos volcánicos han sido descritos como andesitas, siendo su litología muy similar de un afloramiento a otro. Sin

embargo, por la geoquímica han sido clasificados como shoshonitas. Estas rocas son consideradas de edad Plio-Cuaternaria en base a criterios estratigráficos y dataciones radiométricas.

### **3.3.8 FORMACIÓN SAN SEBASTIÁN**

La formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916), se ubica en la Depresión de Anta. Esta presenta una superficie bastante plana sobreyaciendo generalmente a la formación Chincheros.

Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988), la primera grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres y palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conoterrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca. Este cierre está mostrado por la presencia de estructuras comprensivas sedimentarias (Cabrera, 1988). A 2 km. Al norte de la localidad de Anta (Ramírez, 1958) encontró dientes y fémures de las familias Équido y Meghatherido, en tanto que Cabrera (1988) halló la columna vertebral de un perezoso gigante y el maxilar de un equino. Todos estos fósiles estudiados, sugieren una edad Pleistocena inferior para la formación San Sebastián.

### **3.3.9 DEPÓSITOS ALUVIALES**

Dentro de estos depósitos, se ha considerado los conos aluviales como los de deyección. quienes están adosados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacentes al río Cachimayo, los que están conformados por bloques y fragmentos de rocas de los afloramientos adyacentes a dichas quebradas, envueltos por una matriz areno-arcillosa.

Las mejores exposiciones de estos depósitos aluviales, se puede observar en las quebradas Corimarca, Suaray, Jatunmayo, al norte de meseta de Chinchaypucyo y al pie del cerro San Cristóbal. (Figura. 7).

### 3.3.10 DEPÓSITOS FLUVIALES

Estos depósitos son los transportados por los ríos, los cuales están restringidos a los pisos de valles; están constituidos por capas de arena y grava, formando terrazas, estos depósitos fluviales pueden ser pre y post a los depósitos aluviales.

La exposición de estos depósitos, se observa en el piso de la microcuenca Cachimayo, así como también en los principales afluentes de esta microcuenca.

### 3.3.11 ROCAS INTRUSIVAS

Estos cuerpos plutónicos pertenecen al Batolito Andahuaylas – Yauri. Aflora al oeste de la localidad de Ancahuasi y al norte de Zurite. Está representado por afloramientos de *Cuarzomonzodiorita* que son de colores verdosos a grises debido a la alteración. Tienen una textura granular de grano fino, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, en una matriz microgranuda de plagioclasa, ortoclasa y cuarzo. La plagioclasa con cristales menores a 3 mm., es sódica con porcentajes que sobrepasan el 50%, presentando cristales subhedrales. Las ortoclasas son de menor tamaño y de forma anhedral. El cuarzo con extinción ondulante esta ligeramente agrietado y se encuentra generalmente dentro de las plagioclasas. Las hornblendas se presentan en cristales anhedrales. Las plagioclasas se hallan alteradas a caolín, sericita y epidota, en tanto que la hornblenda se halla sustituida por augita y por óxidos de hierro (Herrera & Vallenias, 1996). (Figura. 8).

### **3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La Geología Estructural de la zona de estudio se caracteriza por presentar una actividad tectónica, las estructuras especialmente las fallas que rodean la zona de estudio afectan directa e indirectamente a la reactivación de fenómenos de geodinámica externa y estos asociados a otros factores como las intensas precipitaciones, son los que intensifican a un mas la magnitud de los fenómenos de geodinámica externa, (Mapa: 08).

#### **3.4.1 FALLAS**

A escala regional las principales estructuras, se describen como un sistema de fallas de dirección NW-SE.

La región del Cusco, se encuentra caracterizada por una evolución tectono-sedimentaria plio-cuaternaria, localizada a lo largo del sistema de fallas que limita las Altiplanicies de la Cordillera oriental. Este sistema de fallas activas es producido por una extensión N-S y está caracterizado por escarpas pleistocenas (400 m. de altura) y por pequeñas escarpas holocenas (2 – 20 m. de altura) (Cabrera, 1988). La región caracterizada por una importante actividad sísmica cortical, presenta muchos sectores de fallas normales activas. Se considera como activa una falla que ha experimentado una o varias reactivaciones holocenas (es decir, los últimos 10000 años).

Las fallas activas de la región Cusco son las fallas de Zurite, Tambomachay, y Qoricocha, las que describiremos brevemente.

##### **3.4.1.1 FALLA ZURITE**

Tiene 20 kms., de extensión aproximadamente, es una falla E-W, separa la depresión de Anta con la Cordillera Oriental. El bloque norte está

compuesto por las rocas del Grupo San Jerónimo y el sur por la cobertura meso-cenozoica, que es el bloque hundido. Esta falla ha jugado antiguamente como falla de rumbo sinextral e inversa, pero durante el Cuaternario como normal. Pequeños escarpes de dirección N100-N115° y de buzamiento 60 a 70°S, caracterizan la actividad reciente de la falla que afecta depósitos aluviales y morrenicos de edad cuaternaria (Cabrera, 1988).

#### **3.4.1.2 FALLA TAMBOMACHAY**

Se ubica al norte de la ciudad del Cusco y separa la meseta de Sacsayhuaman de las montañas del Cusco, es decir que pone en contacto las formaciones del Grupo San Jeronimo con las del Grupo Yuncaypata. Esta falla es muy parecida a la falla de Zurite, puesto que anteriormente su movimiento era como falla inversa y actualmente tiene evidencias de un movimiento normal del cuaternario antiguo (400 m.) y reciente (2 m.), que indican que se trata de una falla activa.

#### **3.4.1.3 FALLA QORICOCHA**

De dirección E-W; está situada a 10 km al norte de la Falla Tambomachay y tiene una longitud de 3 km. Esta caracterizada por pequeños escarpes de orientación similar y muestran un movimiento normal. Esta falla afecta los depósitos sedimentarios cuaternarios y los volcánicos Plio-cuaternarios shoshoníticos. Las observaciones neotectónicas hechas por Cabrera (1988), indican que el sismo del Cusco del 5 de mayo de 1986, se debe a la reactivación de un segmento de la Falla Qoricocha.

A escala local, la dirección de las fallas es diversa por el control estructural del sistema de fallas regionales así como tales:

- **Falla Kasacunca:** con dirección NW-SE y un buzamiento al NE, ubicada hacia el sureste de la localidad de Anta. Caracterizado por pequeños escarpes y muestra un movimiento normal. Hacia el piso de esta falla, por reactivaciones y en zonas de debilidad, se encuentran fallas subsidiarias con dirección paralela o casi paralelas. Esta falla afecta los depósitos cuaternarios y los volcánicos Tacaza, produciendo con estos deslizamientos, diaclasamientos y presencia de filtraciones de agua a manera de falsos manantes que amenazan viviendas, terrenos de cultivo e infraestructura vial en la comunidad de Kasacunca. (Figura. 9).
- **Falla Sambor:** con dirección E-W, y un buzamiento al N, ubicada al norte de la localidad de Huarcocondo. Es una falla inversa que pone en contacto las formaciones del Grupo San Jeronimo con las del Grupo Yuncaypata.
- **Falla Huarcocondo:** con dirección NE-SW y buzamiento al NW, ubicado al oeste de la localidad de Huarcocondo.

En conclusión, el gran sistema de fallas activas del Cusco define una zona estrecha de 10 km de ancho y más de 100 km de largo aproximadamente, con direcciones que varían entre NW-SE y E-W. Las fallas están señaladas en algunos lugares por la presencia de escarpas que cortan el substratum e indican multiplicidad de reactivaciones, tanto Pleistocenas como Holocenas. En general, al mínimo, dos reactivaciones holocenas mayores son observadas en el Sistema de Fallas del Cusco, estas indican un tiempo máximo de recurrencia de alrededor de 5000 años. Cada reactivación está asociada a un fuerte paleosismo que está caracterizado por un desplazamiento en superficie de 1 a 2 m, que localmente puede alcanzar 5 m. El análisis estructural de las principales fallas normales activas de la región del Cusco, muestran una extensión de dirección N-S. El sistema de fallas activas parece corresponder a un reajuste entre la Cordillera Occidental (comprendiendo las Altiplanicies) que está compensada y la Cordillera

Oriental esta subcompensada. Esta última se levanta más que su equilibrio isostático a causa de la compresión que actúa en su borde oriental.

### **3.4.2 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE LAS SECCIONES ESTRUCTURALES**

Se caracterizan por presentar pliegues suaves, cabalgamientos y un diapirismo evaporítico. (Mapa: 09).

- **Sección Estructural A – A’:** Presenta un cabalgamiento que afecta a rocas del Paleozoico y Mesozoico (Falla de Zurite) y aparentemente correspondería a la reactivación de fallas normales (inversión tectónica). Hacia el SW de este cabalgamiento, se presenta la formación Anta. Al frente de esta estructura, se tiene el emplazamiento de una cuña entre fallas que flexiona un cuerpo diapírico (Formación Maras). Estas estructuras, son originadas por pliegues por flexión y propagación de fallas.
- **Sección Estructural B – B’:** En esta sección, corresponde el emplazamiento del Domo de Maras (Marocco, 1978). Este domo, esta originado por la expulsión de niveles evaporíticos al frente de cabalgamientos. La Formación Anta, también se desarrolla en la parte anterior del cabalgamiento mayor, el que corresponde a la reactivación en compresión de fallas normales.
- **Sección Estructural C – C’:** El borde SW, se presenta el volcánico Tacaza, y el empalamiento de la Formación Anta y del Grupo San Jeronimo que son desplazados por fallamiento normal de la falla Kasacunca, y el borde NE, por las unidades cretáceas y paleógenas. Estas unidades litológicas, se presentan limitadas por el Domo de Maras, que deforma en pliegues suaves a las formaciones Puquin, Quilque y Chilca.

### **3.4.3 PLIEGUES**

En el sector oeste de la microcuenca, al norte de Limatambo y de Zurite, está caracterizada por la presencia de secuencias meso-cenozoicas. Afloran rocas de los grupos Yuncaypata y San Jerónimo, las que se halla plegadas. Los pliegues son principalmente de dirección NE-SW, los mismos que están cortados por fallas inversas y por diapiros evaporíticos. Los pliegues parecen haberse formado por propagación de fallas inversas, que tienen una vergencia norte. Igualmente estos pliegues han debido estar controlados por juegos de rumbo siniestral (falla Zurite), durante la sedimentación del Grupo San Jerónimo (Carlotto, et al., 1996). Al sur de esta zona aparece la parte norte del Batolito Andahuaylas – Yauri, que cabalga al NE. (Figura. 10).

#### **3.4.3.1 ANTICLINAL DE ZURITE**

Ubicado al noreste de la localidad de Zurite, con dirección NE-SW, se extiende desde el noreste de Zurite hasta la quebrada Sambor, donde es truncado por la falla inversa de Sambor.

Este anticlinal está conformado por la Formación Kayra, la charnela de este anticlinal se encuentra erosionada.

### **3.4.4 TECTÓNICA**

Según Esteinman (1929), la evolución meso-cenozoica de los andes centrales había sido dominado por largos periodos de sedimentación, controlados por una tectónica distensional e interrumpidas por cortos periodos compresionales llamados fases tectónicas.

### **3.4.4.1 TECTÓNICA ANDINA**

La Tectónica Andina (Marocco, 1978), es un conjunto de acontecimientos que ocurrieron entre el inicio del mesozoico y la época actual, los cuales dieron origen a la Cordillera de los Andes, estos acontecimientos son de naturaleza diferente y duración variable, es así que después de un largo periodo de sedimentación marina y continental (Trías a Santoniano) vino un periodo de plutonismo, vulcanismo, sedimentación continental, luego estos procesos fueron entre cortados por fases tectónicas.

Las deformaciones andinas, corresponden a una tectónica plástica y a una tectónica de fracturamiento importante (Candia & Carlotto, 1985). Steinmann (1929), define tres principales fases tectónicas, para la evolución Andina.

- Fase Peruana (Santoniano).
- Fase Incaica (Eoceno Superior-Oligoceno Inferior).
- Fase Quechua (Mio-plioceno).

#### **3.4.4.1.1 FASE INCAICA**

Al comienzo durante el primer evento magnético la región experimentó una distensión N-S; provocando fracturamientos en direcciones E-W en la que luego se emplazan los gabros del Batolito de Andahuaylas, posteriormente las venas de cuarzo feldespáticas que intruyen a los gabros y a los stocks tonalíticos. Se emplazaron en fracturas NW-SE, producidas por distensiones NE-SW. Este episodio habría ocurrido en el Eoceno superior – Oligoceno, (Steinmann, 1929).

#### 3.4.4.1.2 FASE QUECHUA

Posteriormente una compresión NW-SE en el Oligoceno habría ocasionado los cabalgamientos inversos del sistema fallado NW-SE, las esquistosidades y los reducidos plegamientos existentes en la zona; luego el batolito es afectado por una distensión NE-SW con lo cual las microdioritas se emplazan en diaclasamientos NW-SE, (Sebrier, 1988) y finalmente una compresión N-S ocasiona plegamientos isoclinales en las calizas y heteroclinales complejos en los yesos Ayavacas e incluso plegamientos en los sills microdioríticos que tendrán una edad Miocena superior (Soulas, 1975).

#### 3.4.4.2 NEOTECTÓNICA

En el cuaternario toda la región habría estado sometida a una distensión tectónica N-S, que ocasiono un sistema de fallas normales, e incluso en las fallas ya preexistentes en las que se emplazaron las lavas shoshoníticas existentes en el límite del Altiplano y la Cordillera Oriental del sector de la Deflexión de Abancay (Carlotto y Candía, 1985; Cabrera, 1987).

Esta tectónica del cuaternario, también afecta a los sedimentos recientes como son la Formación San Sebastián y los depósitos recientes, (Cabrera, 1984), en la región del Cusco, mediante estudios microtectónicos revela cuatro episodios de deformación.

- Un episodio compresivo, de dirección N-S, Pleistoceno inferior.
- Un episodio compresivo, con acortamiento E-W, Paleoceno inferior – medio.
- Un episodio extensivo, de dirección E-W, Pleistoceno.
- Un episodio extensivo, eje de alargamiento N-S, Holoceno – actual.

Las actividades neotectónicas son evidentes por los siguientes aspectos:

- Afloramiento de rocas ígneas cuaternarias recientes que indican una actividad magmática muy reciente (30,000 años).
- La gran cantidad y variedad de materiales cuaternarios, muchos de éstos íntimamente ligados a tectonismo y glaciaciones.
- Ocurrencia de numerosas fallas activas muchas ligadas a los focos magmáticos de rocas volcánicas andesíticas recientes.
- Actividad actual de fallas (Tambomachay, Qoricocha, Zurite, y otras) que producen sismos frecuentes. Deslizamientos recientes y actuales que se ubican en los flancos (Huamancharpa, Pícol, Zurite, Saphy y otros), aparte de numerosos desprendimientos de suelos y rocas ocasionados por sismos fuertes.

## **CAPITULO IV**

### **HIDROLOGIA**

#### **4.1 GENERALIDADES**

La mayor parte del agua que existe en la naturaleza, el 97.5% es agua salada almacenada en los océanos y algunos lagos. Solo el 2.5% restante es el agua dulce que se encuentra almacenada en las rocas, en casquetes polares y glaciares, ríos, lagos, biomasa y atmosfera en forma de vapor.

El agua dulce en la hidrosfera se reparte en la siguiente manera (Shiklomanov, 1997):

<b>Agua dulce en la Hidrosfera</b>	<b>%</b>
Glaciares y casquetes polares	68.70%
Aguas subterráneas dulces	30.10%
Lagos de agua dulce	0.26%
Ríos	0.006%
Biomasa	0.003%
Vapor en la atmosfera	0.04%
Ciénagas y suelo	0.891%

Cuadro 4.1: Clasificación del agua dulce en la hidrosfera.

El tiempo medio de permanencia de una molécula de agua en los océanos es de 2500 años, en los glaciares y casquetes polares de 9700 años, en los acuíferos de decenas de miles de años, en los lagos de agua dulce de unos 17 años, en los lagos de agua salada unos 150 años, en los ríos de unos 15 a 20 días, en la atmosfera de 8 a 10 días, y en la biomasa de algunas horas.

El volumen de agua dulce en la naturaleza es, pues, muy inferior al de agua salada, alrededor de 40 veces. Además, la mayor parte del agua dulce se encuentra congelada en glaciares y casquetes polares por lo que el volumen de agua dulce “disponibles” es aún menor, pero se está regenerando continuamente.

## 4.2 CUANTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HIDROLÓGICO

### 4.2.1 PRECIPITACIÓN

#### 4.2.1.1 MEDIDA DE LA PRECIPITACIÓN

Los pluviómetros son los aparatos destinados a medir la precipitación que se produce en un intervalo de tiempo determinado. Según el intervalo que se considere hay:

**Pluviómetros no registradores:** registran la precipitación caída en un punto durante un intervalo de tiempo generalmente diario. Proporcionan el volumen total de agua precipitada pero no dan información sobre la distribución, de la precipitación en el intervalo de tiempo considerado.

*Pluviómetros registradores o Pluviógrafos:* proporcionan una grafica, pluviograma, que es una curva continua de precipitación acumulada a los largo del intervalo de tiempo que se considere. De un pluviograma puede obtenerse la siguiente información:

- Volumen total de agua precipitada.
- Hora de comienzo y fin de cada aguacero.
- Intensidad máxima de precipitación (volumen máximo de agua caída en la unidad de tiempo). Coincide con la máxima pendiente del pluviograma.
- Intensidad para cualquier intervalo de tiempo registrado en el pluviograma.
- Curvas de intensidad-duración-frecuencia, que se utilizan para el cálculo de periodos de retorno de duración de aguaceros de diferentes intensidades.

Las medidas de precipitación, que han de referirse a un intervalo de tiempo concreto, suelen expresarse en unidades de altura de agua en una superficie plana horizontal, generalmente mm o cm. Un mm es la altura que alcanza un litro de agua sobre una superficie de un m<sup>2</sup>, por lo tanto 1 mm de lluvia equivale a 1 L/m<sup>2</sup>.

Al ser la precipitación una variable discontinua en el espacio y en el tiempo, los valores medidos en una estación solo son representativos para el punto de medida y su entorno. Es por esto por lo que para caracterizar la precipitación de una zona es necesario contar con una red de pluviómetros. La densidad de la red pluviométrica depende de la orografía.

#### **4.2.1.2 VALIDACIÓN DE LOS DATOS Y OBTENCIÓN DE SERIES DE PRECIPITACIÓN**

En toda la red pluviométrica existen estaciones especialmente cuidadas en lo que se refiere a la fiabilidad de sus datos. Son las habitualmente estaciones base, que se utilizan para validar los datos obtenidos en otras estaciones de su entorno. Esta validación es la primera tarea a realizar con los datos obtenidos en un pluviómetro. Se hace mediante el método de las *dobles masas o dobles acumulaciones*. El método se basa en que si, en un sistema de coordenadas, se toma sobre el eje de abscisas los valores de las precipitaciones anuales (o en otro periodo de tiempo) acumuladas de la estación que se quiere comprobar y sobre el de ordenadas los valores promedios de las precipitaciones acumuladas de varias estaciones cercanas a la anterior, se debe cumplir que la serie de puntos obtenida ha de encontrarse sobre una línea recta.

Los errores sistemáticos se traducen en un cambio de la pendiente de la recta a partir de un punto determinado y se corrige el error multiplicando las

precipitaciones de la estación estudiada, situados sobre el tramo de menor longitud, por la relación de pendientes de ambas rectas.

Estación	Depart.	Provincia	Distrito	Coord. Geográficas		Altitud
				Lat.	Long.	
Perayoc	Cusco	Cusco	Cusco	13° 13' S	71° 57' O	3365
				Lat.	Long.	
Kayra	Cusco	Cusco	San Jerónimo	13° 25' S	71° 54' O	3219
				Lat.	Long.	
Zurite	Cusco	Anta	Zurite	13° 27' S	72° 16' O	3391
				Lat.	Long.	
Anta	Cusco	Anta	Anta	13° 28' 21" S	72° 09' 09" O	3340
				Lat.	Long.	

Cuadro 4.2: Ubicación de las estaciones meteorológicas. Fuente SENAMHI

Se analizaran los datos de pluviometría anual, de los 38 años hidráulicos comprendidos entre 1970 y 2007, de la estación meteorológica de Anta, se observa un error sistemático a partir del año numero 16 (1985) al 25 (1994), que se corrige multiplicando las precipitaciones de los años intermedios por un coeficiente  $C = 0.97$ .

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO – GEODINÁMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO-ANTA**

AÑO	Núm. de Orden	PRECIPITACIONES (mm.)						PROMEDIO P. Anual: a), b), c) y d)	PROMEDIO Acumulada
		Anta		Perayoc	Zurite	Kayra			
		P. Anual Acumulada	P. Anual (a)	P. Anual (b)	P. Anual (c)	P. Anual (d)			
1970	1	4107.5	720.4	786.9	795.6	855.2	789.5	4292.6	
1971	2	4937.2	829.7	645.9	769.8	659.1	726.1	5018.8	
1972	3	5719.4	782.2	587.7	747.5	553.5	667.7	5686.5	
1973	4	6425.2	705.8	879.7	1074.0	816.3	869.0	6555.4	
1974	5	7287.1	861.9	852.1	913.7	681.7	827.4	7382.8	
1975	6	7973.6	686.5	772.7	989.6	721.6	792.6	8175.4	
1976	7	8684.9	711.3	709.3	748.5	560.3	682.4	8857.7	
1977	8	9272.6	587.7	846.2	933.1	613.1	745.0	9602.8	
1978	9	10146.7	874.1	749.6	778.3	682.8	771.2	10374.0	
1979	10	10871.4	724.7	849.5	653.4	600.8	707.1	11081.1	
1980	11	11457.0	585.6	620.9	741.6	619.2	641.8	11722.9	
1981	12	12273.9	816.9	894.4	873.4	923.2	877.0	12599.9	
1982	13	13238.6	964.7	1015.3	779.0	786.8	886.5	13486.3	
1983	14	13773.5	534.9	653.2	737.2	477.7	600.7	14087.1	
1984	15	14580.9	807.4	930.5	986.7	800.1	881.2	14968.2	
1985	16	15125.3	544.4	882.7	880.5	727.0	758.6	15726.9	
1986	17	15876.5	751.2	737.2	742.0	563.1	698.4	16425.3	
1987	18	16461.5	585.0	927.2	901.7	630.1	761.0	17186.3	
1988	19	17438.6	977.1	938.2	848.5	735.5	874.8	18061.1	
1989	20	18083.7	645.1	892.5	833.5	690.3	765.3	18826.4	
1990	21	18477.9	394.2	958.5	834.4	658.4	711.4	19537.8	
1991	22	19134.3	656.4	942.5	912.9	681.0	798.2	20336.0	
1992	23	19703.6	569.3	742.8	785.5	602.3	675.0	21011.0	
1993	24	20743.4	1039.8	955.9	1034.9	840.8	967.8	21978.8	
1994	25	23208.2	2464.8	1020.3	897.8	795.3	1294.5	23273.4	
1995	26	24248.5	1040.3	610.2	688.1	559.1	724.4	23997.8	
1996	27	25636.1	1387.6	664.6	792.0	610.2	863.6	24861.4	
1997	28	26503.5	867.4	838.8	825.5	804.2	834.0	25695.3	
1998	29	27501.3	997.8	648.1	770.9	500.9	729.4	26424.8	
1999	30	28613.3	1112.0	608.1	686.7	542.9	737.4	27162.2	
2000	31	29382.1	768.8	503.4	735.4	656.0	665.9	27828.1	
2001	32	30187.6	805.5	917.5	762.8	761.9	811.9	28640.0	
2002	33	31084.4	896.8	973.4	928.8	822.7	905.4	29545.4	
2003	34	31997.6	913.2	844.9	843.4	712.0	828.4	30373.8	
2004	35	32851.7	854.1	729.0	837.6	633.0	763.4	31137.2	
2005	36	33609.9	758.3	558.4	698.5	543.7	639.7	31776.9	
2006	37	34446.4	836.4	857.8	855.3	714.1	815.9	32592.8	
2007	38	35444.2	997.8	729.0	735.4	822.70	821.2	33414.1	
			<b>843.6</b>	796.7	825.1	693.1	787.1		

Cuadro 4.7: Precipitaciones anuales y acumuladas de las estaciones meteorológicas de Anta, Perayoc, Zurite y Kayra (1970 – 2007). Fuente SENAMHI

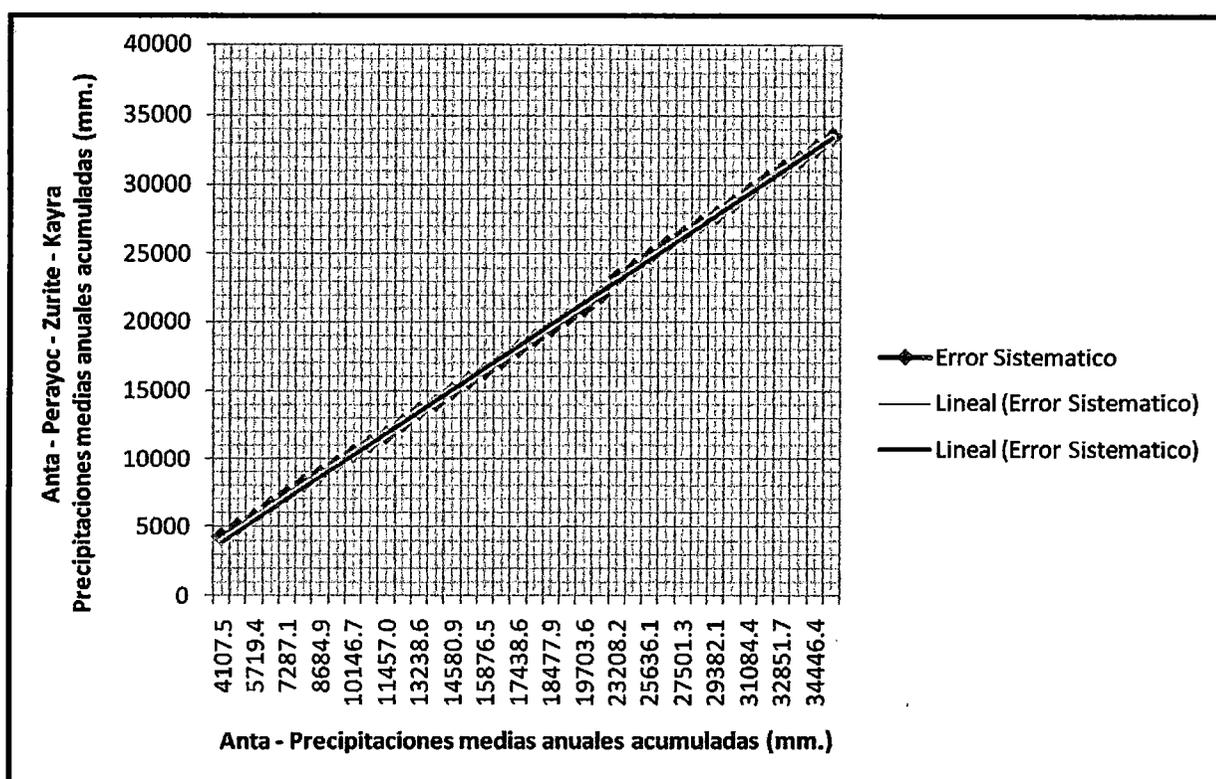


Gráfico 4.1: Curva de doble acumulación de la estación meteorológica de Anta

Donde:

$\mu$  = pendiente de la recta

C = relación de pendientes (coeficiente corrector)

Pendientes validas:

$$\mu(1 - 16) = \frac{12.5}{11.8} = 1.06$$

$$\mu(25 - 38) = \frac{10.5}{11.2} = 0.94$$

Promedio de pendientes validas:

$$\mu(\text{prom.}) = 1.00$$

Pendiente del error sistemático:

$$\mu(16 - 25) = \frac{8.5}{8.3} = 1.02$$

Coefficiente corrector:

$$C = \frac{1.00}{1.02} = 0.97$$

En la curva de doble acumulación se observa un error sistemático a partir del año número 16-25, que se traduce en un cambio de la pendiente de la recta. El promedio de la pendiente de la recta que pasa por los años números 1-16 y 25-38 es 1.00, mientras que la del error sistemático va del año número 16-25 es 1.02. El coeficiente de relación entre ambas pendientes es 0.97, factor por el que se deben multiplicarse las precipitaciones de los años números 17-24 para corregir su error.

En el cuadro 4.8. Se encuentran las correcciones de los años números 17-24. El error acumulado es -170.5 mm., en 38 años, lo que supone un error anual de -4.5 mm. Y, por consiguiente, la precipitación media anual calculada en el cuadro 4.7. (843.6 mm.), pasa a ser 839.1 mm.

AÑO	Núm. de Orden	Precipitaciones anuales (mm.)		Incremento (mm.)	
		Sin corregir (1)	Corregidas (2)=(1)*0.97	Parcial (3)=(2)-(1)	Acumulado (4)=∑(3)
1986	17	751.2	728.7	-22.5	-24.5
1987	18	585.0	567.5	-17.6	-42.1
1988	19	977.1	947.8	-29.3	-71.4
1989	20	645.1	625.7	-19.4	-90.7
1990	21	394.2	382.4	-11.8	-102.5
1991	22	656.4	636.7	-19.7	-122.2
1992	23	569.3	552.2	-17.1	-139.3
1993	24	1039.8	1008.6	-31.2	-170.5

Cuadro 4.8: Corrección de las precipitaciones anuales de la estación meteorológica de Anta.

Validados los valores de precipitación de las diferentes estaciones correspondientes a una misma cuenca hidrográfica y a su entorno próximo, se está en disposición de caracterizar la *precipitación sobre la cuenca*. En primer lugar hay que seleccionar la serie pluviométrica que se va utilizar a tal efecto.

Es usual representar los datos de precipitación de una serie, en una estación mediante un grafico de barras en unos ejes cartesianos, denominado *yetograma*. Sobre este grafico se dibuja una línea horizontal indicando la precipitación media del periodo. El yetograma es muy útil para comparar visualmente la precipitación de unos años y otros y para determinar años húmedos (precipitación por encima de la media) y años secos (precipitación por debajo de la media).

Se utilizaran la serie de la estación meteorológica de Anta. Por estar dentro del contorno de la microcuenca.

Años	Núm. De Orden	Anta
		Prec. Anual
1970	1	715.9
1971	2	825.2
1972	3	777.7
1973	4	701.3
1974	5	857.4
1975	6	682.0
1976	7	706.8
1977	8	583.2
1978	9	869.6
1979	10	720.2
1980	11	581.1
1981	12	812.4
1982	13	960.2
1983	14	530.4
1984	15	802.9
1985	16	539.9
1986	17	746.7
1987	18	580.5
1988	19	972.6

1989	20	640.6
1990	21	389.7
1991	22	651.9
1992	23	564.8
1993	24	1035.3
1994	25	2460.3
1995	26	1035.8
1996	27	1383.1
1997	28	862.9
1998	29	993.3
1999	30	1107.5
2000	31	764.3
2001	32	801.04
2002	33	892.29
2003	34	908.69
2004	35	849.56
2005	36	753.76
2006	37	831.94
2007	38	993.3
<b>MEDIA</b>		<b>839.1</b>

Cuadro 4.9: Precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas de Anta y Zurite

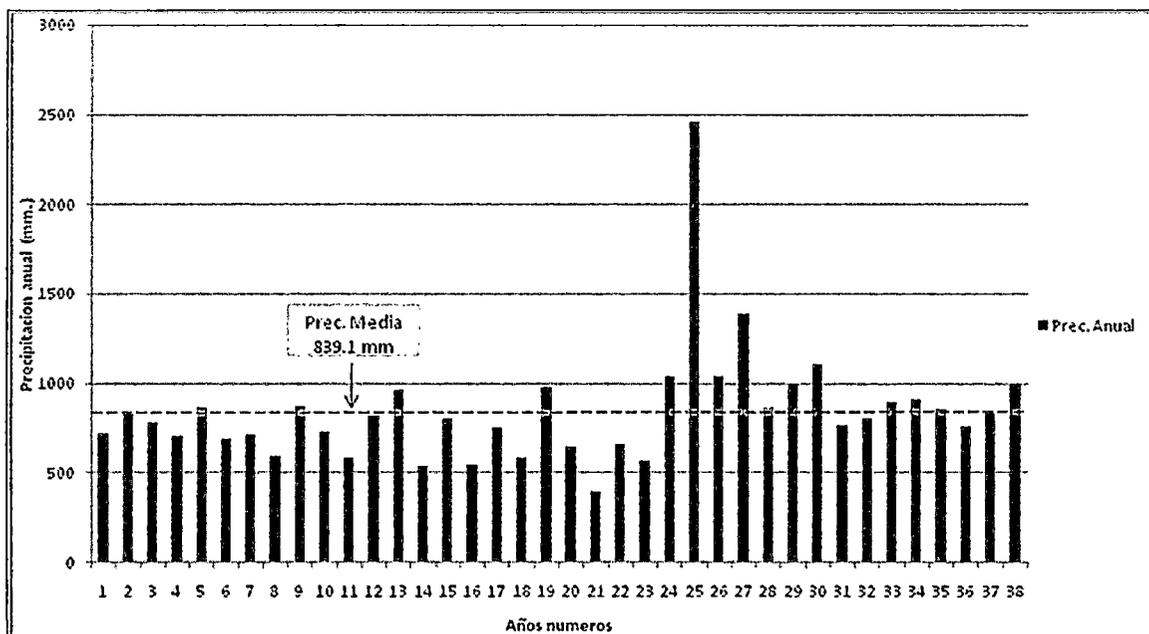


Grafico 4.2: Yetograma de las precipitaciones anuales de la estación meteorológica de Anta (1970-2007)

Los años húmedos son aquellos que quedan por encima de la precipitación media como: 1993, 1994, 1995, 1996 y 1999; mientras los años secos son los que

quedan por debajo de la precipitación media como: 1977, 1980, 1983, 1985, 1990 y 1992. Se puede denominar “años medios” a aquellos que quedan próximos a la precipitación media como: 1971, 1974, 1978, 1997, 2004 y 2006.

El modulo pluviométrico para la microcuenca oscila entre los 839.1 mm al año, y con un mínimo mensual de 3.6 mm para el mes de Julio y el máximo mensual de 172.8 mm para el mes de Enero.

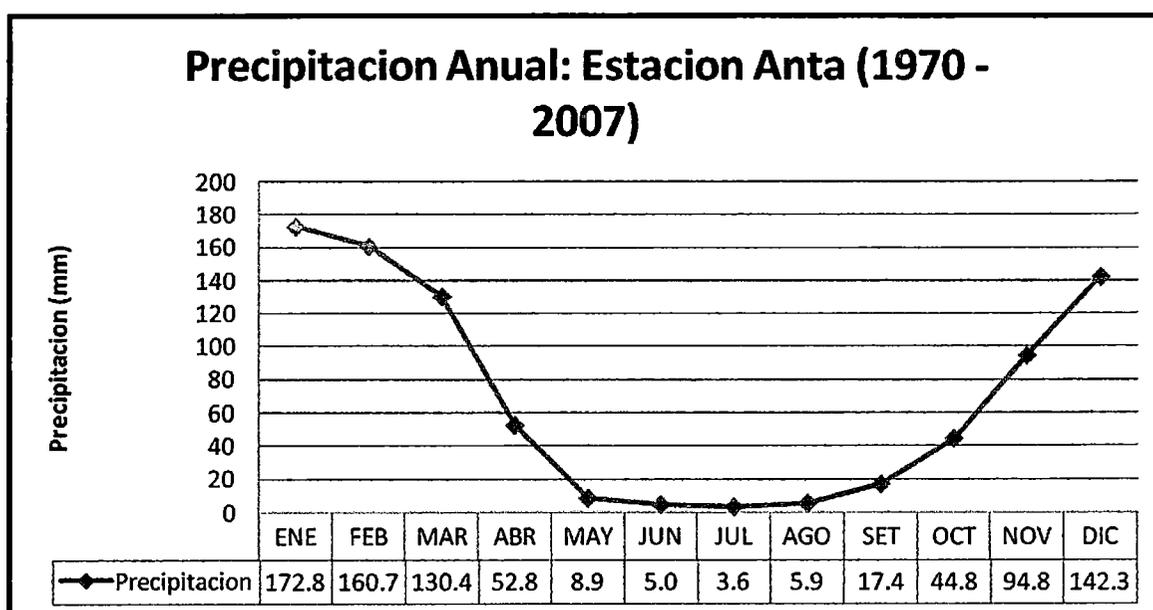


Grafico 4.3: Distribución de la Precipitación anual de la estación meteorológica de Anta.

#### 4.2.1.3 CALCULO DE VOLUMEN DE AGUA PRECIPITADO SOBRE LA MICROCUENCA

Los objetivos del estudio a realizar marcaran la elección del intervalo de tiempo y sus características, a utilizar para calcular el volumen de agua precipitado sobre la microcuenca. Generalmente el cálculo se realiza para la precipitación media de toda la serie considerada, para la media de una secuencia seca representativa, para la media de una secuencia húmeda representativa, para el año más seco del periodo y para el año más húmedo del periodo.

El método de la *media aritmética* calcula la precipitación sobre la microcuenca como la media aritmética de la precipitación de todas las estaciones para el periodo de tiempo considerado. Es un método rápido que proporciona buenos resultados cuando existe una homogeneidad climática en la microcuenca, puesto que da el mismo peso a la precipitación de todas las estaciones. Fuera de estos casos suele utilizarse para estimar en una primera aproximación el orden de magnitud del volumen de agua originado por la precipitación.

Se utilizarán las series de las estaciones meteorológicas de Anta y Zurite. Por estar dentro del contorno de la microcuenca.

Estaciones	Cota (msnm)	Numero años	Precipitación media (mm)
Anta	3340	38	839.1
Zurite	3391	38	825.1

Cuadro 4.9: Serie de estaciones pluviométricas

La media aritmética se obtiene dividiendo la suma de todas las precipitaciones anuales entre el número total de estaciones.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

P = Precipitación media sobre la microcuenca (mm).

$P_i$  = Precipitación para cada estación  $i$  (mm).

n = Numero de estaciones.

$$P = \frac{1}{2} (839.1 + 825.1)$$

$$P = \frac{1664.2}{2} = 832.1 \text{ mm}$$

#### 4.2.2 TEMPERATURA

Es uno de los principales agentes geológicos que junto a otros actúan sobre las rocas y es uno de los factores de gran importancia de la formación del suelo. La variación de la temperatura dentro de la microcuenca, depende estrechamente de la altitud y morfología de la zona, además del cambio de estaciones del año y de la variación de las precipitaciones pluviales. Es un factor importante decisivo y determinante de las diversas etapas del ciclo hidrológico, para los parámetros en la determinación de la escorrentía, evapotranspiración, etc.

Los siguientes cuadros y gráficos muestran la variación de la temperatura en promedio, con 17 años de registro (1990-2007), los cálculos son registrados de las estaciones de Anta y Perayoc.

La temperatura media máxima y mínima dentro del área de estudio varían de:

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL: MEDIA MAXIMA Y MINIMA: ANTA (°C)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
Temp. Media	13.0	12.9	12.7	11.6	9.6	8.2	8.0	9.2	10.7	12.0	12.7	12.7	11.11
Temp. Máxima	20.5	20.3	20.5	20.4	21.1	20.9	20.9	21.0	21.0	21.0	21.3	20.3	20.77
Temp. Mínima	5.4	5.4	4.9	2.7	-2.0	-4.5	-4.8	-2.7	0.4	3.1	4.1	4.9	1.42

Cuadro 4.10: Temperatura promedio anual de media, máxima y mínima de la estación de Anta. Fuente SENAMHI

El promedio de la temperatura anual para las dos estaciones es de 11.12 °C.

Mes	Temperatura Media (°C)		
	Anta	Perayoc	Promedio
Ene.	13.0	11.8	12.40
Feb.	12.9	11.8	12.35
Mar.	12.7	11.7	12.20
Abr.	11.6	11.2	11.40
May.	9.6	10.4	10.00
Jun.	8.2	9.3	8.75
Jul.	8.0	9.3	8.65
Ago.	9.2	9.9	9.55
Sep.	10.7	11.0	10.85
Oct.	12.0	12.4	12.20
Nov.	12.7	12.4	12.60
Dic.	12.7	12.4	12.60
Total Prom.	11.11	11.13	11.12

Cuadro 4.11: Temperatura media de las estaciones Anta y Perayoc (1990-2007)

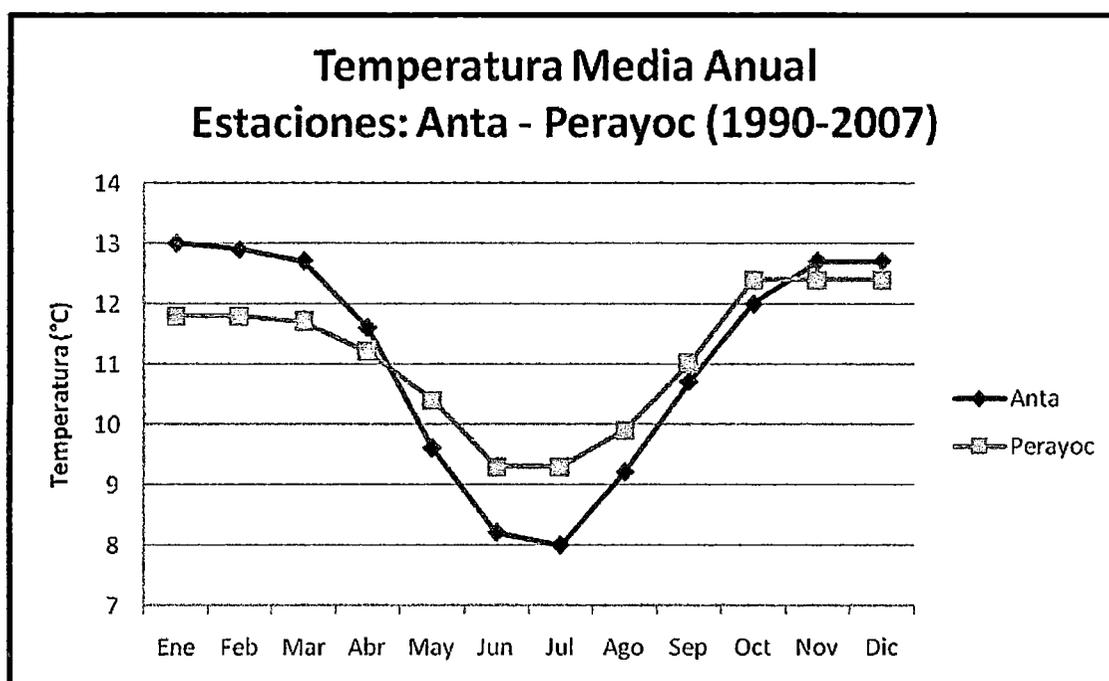


Grafico 4.4: Tendencia de las temperaturas medias anuales: Anta – Perayoc.

Las característica térmica de la zona de estudio es semifrío, con heladas entre junio – julio, y una temperatura que sube entre octubre y marzo.

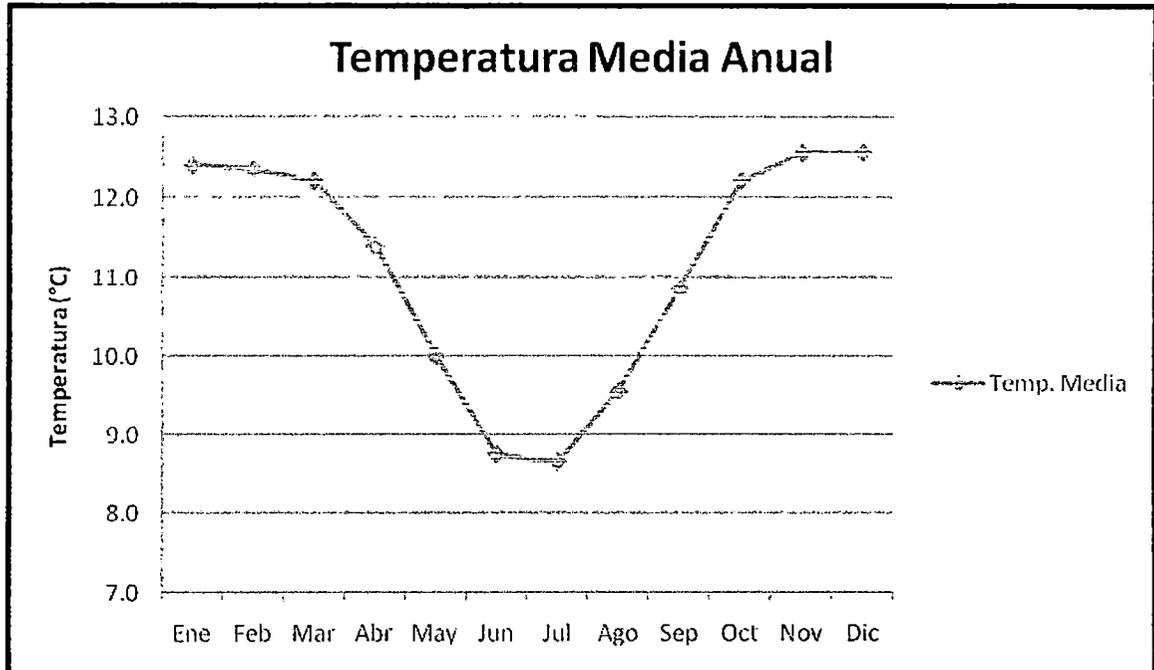


Gráfico 4.5: Temperatura media anual de las estaciones de Anta y Perayoc

#### 4.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se define evapotranspiración como el volumen de agua que desde el estado sólido o líquido pasa a la atmósfera a estado de vapor, bien por evaporación directa, transpiración de las plantas. Habitualmente se expresa en mm para un tiempo determinado. Es evidente que la evapotranspiración está en función esencialmente de la alimentación del agua, y por consiguiente de la humedad del suelo, el cual limita con frecuencia su acción.

La tasa de evapotranspiración está determinada por un conjunto de factores que regulan la evaporación y la transpiración, siendo estos físicos y biológicos.

*Los factores físicos:* Hidrogeológicos (granulometría, porosidad, la naturaleza litológica, manto vegetal y la riqueza en agua). Atmosféricos como (temperatura, viento, déficit hidrométrico, intensidad de luz y presión barométrica).

*Los factores biológicos:* Especie vegetal, profundidades de las raíces, animales, etc.

Thornthwaite introdujo el término “evapotranspiración potencial”, que define la cantidad de agua que perdería una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo, si siempre existiera en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas, en contraposición al de “evapotranspiración real”, que es la cantidad de agua evapotranspirada en la realidad.

#### 4.2.3.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La  $E_r$  es el volumen de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en función del volumen de agua disponible.

La  $E_r$  está condicionada por la cantidad de agua disponible en un momento determinado (precipitación y contenido de humedad en el suelo).

L. Turc ha establecido diversas fórmulas basadas en la temperatura media y la altura de precipitación media anual o mensual. La ecuación es:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Donde:

$E_r$  = Evapotranspiración real (mm)

$P$  = Precipitación media anual (mm)

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$

$T$  = Temperatura media anual (°C)

Esta es la formula en la que la T es la temperatura media anual del aire en °C, que expresa el poder evaporante de la atmosfera y es aplicable a todos los climas: áridos, húmedos, fríos y cálidos.

Para la microcuenca de Cachimayo aplicando esta fórmula se tiene:

$$P = 832.1 \text{ mm}$$

$$T = 11.12$$

$$L = 300 + 25(11.12) + 0.05 (11.12)^3$$

$$L = 646.75 \text{ mm}$$

Entonces:

$$E_r = \frac{832.1}{\sqrt{\left(0.9 + \frac{(832.1)^2}{(646.75)^2}\right)}}$$

$$\text{Evapotranspiración Real: } E_r = 523 \text{ mm}$$

#### 4.2.4 CIRCULACIÓN

El agua de las precipitaciones que escapa a la infiltración y a la evapotranspiración, circula por la red hidrográfica en forma de agua superficial que fluye directamente por las superficies de la cuenca hacia los cauces principales de la red hidrográfica.

La circulación, también puede ser alimentada por la corriente externa que penetra las primeras capas del subsuelo fluyendo dentro del hacia los cauces, que también proceden del rebosamiento de los mantos subterráneos que alimenta la cuenca vertiente.

La circulación y la evapotranspiración representan una pérdida para las reservas del agua subterránea. En la zona de estudio la circulación del agua superficial es abundante en épocas de mayor precipitación y en épocas de sequía disminuye tanto que llegan a secarse.

#### 4.2.4.1 Escorrentía superficial

De las aguas de precipitación parte retornan a la atmosfera por procesos de evapotranspiración, otra parte es filtrada por el suelo y subsuelo y el resto genera las avenidas y se escurre por la superficie hasta formar grandes cauces de escorrentías que finalmente desaguan en los ríos y riachuelos.

La cantidad de agua que durante la precipitación escapa a la infiltración y a la evaporación es expresada en porcentajes; en la microcuenca analizamos con el método de Justin donde los valores de la Escorrentía Superficial están dados por la siguiente fórmula:

$$Ce = \frac{0.183 * S^{0.157} * P^2}{160 \div 9T}$$

Donde:

Ce = escorrentía de la microcuenca en mm. (Precipitación efectiva)

P = precipitación promedio anual en (832.1 mm)

T = temperatura media anual (11.12 °C)

S = pendiente media de la microcuenca (33.27%)

$$Ce = \frac{0.183 * (0.3327)^{0.157} * (832.1)^2}{160 \div 9(11.12)}$$

Ce = 409.88 mm (Altura media de agua precipitada que se escurre)

% de Escurrimiento = (Ce/P) \* 100

$$\% \text{ de Escurrimiento} = (409.88 \text{ mm}/832.1 \text{ mm}) * 100$$

$$\% \text{ de Escurrimiento} = 49\% \text{ (Porcentaje de agua que se escurre)}$$

#### 4.2.5 Infiltración

La infiltración es el agua de las precipitaciones que pasa a través de la superficie del suelo y el subsuelo hacia el interior de la tierra, ayudado por la percolación llega a alimentar a las aguas subterráneas.

Para calcular la infiltración, existen varios métodos que pueden ser directos e indirectos, en este caso se utilizó la formula basada en la medida de aforo de las aguas subterráneas que descargan en forma de manantiales (m<sup>3</sup>/s); de esta manera se tiene la siguiente expresión:

$$I = \left( \frac{Q_m * t}{S} \right) * 1000$$

Donde:

I = altura de agua infiltrada anual (mm).

Q<sub>m</sub> = caudal medio (0.0011 m<sup>3</sup>/s).

t = tiempo (31536000 seg.).

S = superficie de la microcuenca (4552419 m<sup>2</sup>).

Aplicando la formula y los datos obtenidos, para la microcuenca de Cachimayo, se tiene:

$$I = \left( \frac{0.0011 * 31536000}{4552419} \right) * 1000$$

$$I = 76.20 \text{ mm/año .}$$

#### 4.2.6 BALANCE HÍDRICO DE LA MICROCUENCA

El balance hídrico de la microcuenca tiene por objeto contabilizar los aportes y las pérdidas de agua en la cuenca hidrogeológica. El cálculo se basa en los datos relativos a los elementos hidrológicos.

Todo fenómeno cíclico implica una igualdad de pérdidas y ganancias, por lo que el balance del agua los representamos con la siguiente igualdad.

$$P = E_r + C_e + I$$

Donde:

$P$  = Totalidad de la capa de agua caída sobre la microcuenca.

$E_r$  = La evapotranspiración real.

$C_e$  = Escorrentía superficial.

$I$  = Infiltración.

$$P = 523 + 409.88 + 76.2$$

$$P = 1009.08 \text{ mm}$$

La totalidad de la capa de agua caída sobre la microcuenca es de 1009.08 mm. La precipitación media anual es de 832.1 mm.

El balance hídrico entre los aportes y pérdidas de agua, en toda la microcuenca hidrogeológica es de 176.98 mm, que es el valor de las aguas almacenada en los acuíferos.

## **CAPITULO V**

### **HIDROGEOLOGIA**

#### **5.1 GENERALIDADES**

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas del yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov, 1985).

Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población, sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, como así también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos.

#### **5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROGEOLÓGICO**

Para poder entender el comportamiento de las aguas subterráneas con respecto a la roca que la contiene, se debe tener en cuenta las condiciones geomorfológicas de la microcuenca, la naturaleza de la roca y condiciones litológicas de las formaciones geológicas.

Estos factores también determinan las características físicas y químicas de la roca almacén, los factores tectónicos y estratigráficos determinan las dimensiones y geometría de los acuíferos.

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, es clásica la clasificación de las rocas en:

### **5.2.1 ACUÍFEROS**

Es la formación geológica que contiene agua en cantidades significativas y que permite que circule a través de ella con facilidad. Los acuíferos son aquellas formaciones geológicas que son capaces de almacenar y transmitir el agua.

Ejm., arenas, gravas, también una roca compacta con una fracturación importante.

### **5.2.2 ACUITARDOS**

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable, pero que el agua circula a través de ella con dificultad o lentamente. Los acuitardos son aquellas formaciones geológicas capaces de almacenar el agua en cantidades importantes pero la transmiten con dificultad, son denominados con frecuencia como formaciones semipermeables. Transmisión lenta de los flujos subterráneos aunque almacenan el agua a escalas regionales. La dinámica de sus movimientos es a través de sus poros intergranulares muy finos y en ocasiones en fisuras.

Ejm.: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada.

### **5.2.3 ACUICLUDOS**

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella. Los acuicludos son aquellas formaciones geológicas que pueden almacenar agua en cantidades, pero

no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con gran dificultad, el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada.

Ejm.: limos, arcillas.

#### **5.2.4 ACUÍFUGOS**

Es la formación geológica que no contiene agua por qué no permite que circule a través de ella. Los acuífugos son aquellas formaciones geológicas incapaces de almacenar y de transmitir el agua, están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises , ya veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir el flujo de las aguas. Unidades de impermeabilización total donde la circulación del agua subterránea es casi nula, en ciertos casos condicionan a otras unidades actuando como controles de los reservorios acuíferos. En general lo conforman estratos de formación micáceas, lutíticos, horizontes de fallas, anfibolitas e intrusivos.

Ejm.: granito o esquistos inalterados y no fracturados.

### **5.3 TIPOS DE ACUÍFEROS**

Según estudios de diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca del río Vilcanota, efectuado por el Instituto de Manejo del Agua y Medio Ambiente (IMA 1998), las aguas subterráneas o acuíferos extendidos en la cuenca no son de magnitud, pero pueden presentar un potencial interesante en Anta. La presencia de manantiales, aunque en forma dispersa, aporta al caudal de los ríos en épocas de estiaje, este recurso es el más utilizado principalmente en pequeños sistemas de riego y en consumo humano de pobladores. Así mismo en el referido estudio que a lo largo del río Vilcanota se

han observado acuíferos, que afloran en las cotas medias de los flancos en sustratos de calizas y areniscas pertenecientes a la formación Ayabaca, y en el Grupo San Jeronimo, donde se encuentran un buen potencial de aguas subterráneas. Los sectores de Anta presentan napas freáticas importantes del tipo acuífero no consolidado o libre, en suelos de origen lacustre, aluvial y fluvial-aluvial que están generalmente relacionados con problemas de drenaje y salinidad por la morfología de su área, su explotación es restringida al uso pecuario y agrícola habiéndose implementado sistemas de drenaje.

El uso de acuífero para consumo humano puede resultar adecuado por su calidad y aspectos económicos, porque al ser agua filtrada disminuye los costos de tratamiento, sin embargo su uso puede ocasionar impactos ambientales en desmedro de su propia calidad, en el sentido que la parte seca que suprayace al acuífero es utilizado para el pastoreo libre, la repercusión contaminadora por esta actividad es inexistente, al explotar el acuífero y deprimir la napa freática que sustenta los pastos naturales, esta área puede cambiar de uso y posibilitar el riego complementario, con la consiguiente utilización de fertilizantes u otros insumos químicos que pueden contaminar el acuífero.

### **5.3.1 ACUÍFEROS POROSOS SEMI-CONSOLIDADOS**

Grava, arena y limos semiconsolidados, la característica fundamental es la porosidad primaria intergranular, la alta porosidad de estos acuíferos hacen presumir que la transmisión del flujo subterránea del agua es violenta con fuertes avenidas espontaneas después de una precipitación es por ello que el uso de estos acuíferos es poco o nada aprovechado.

### **5.3.2 ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS**

Son depósitos aluviales fluvio-aluviales recientes, su configuración litológica es material heterogéneo de clastos y gravas en una matriz areno-limosa, ubicados mayormente en los bordes de los lechos de los ríos donde el nivel freático se encuentra al mismo nivel. Son para el consumo domestico, en muchos casos no se da el uso completo por alta precipitación pluvial en estos sectores (hasta 6500 mm/año).

### **5.3.3 ACUÍFEROS FISURADOS**

Presenta una porosidad secundaria (fisuras, fracturas y diaclasamientos), en su mayoría ocurre en las partes altas donde el constante cambio de la cobertura de suelo por erosión y los constantes esfuerzos tectónicos hacen las fracturas y fisuras sean óptimas para la infiltración. La manifestación de estos acuíferos se produce en pequeños fuentes y manantiales que originan los pequeños ríos permanentes de primer orden que en su mayoría utilizan el agua en forma directa e indirecta de las fuentes para el consumo potable.

## **5.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS**

Los parámetros hidrogeológicos fueron calculados para las formaciones que afloran en mayor proporción en la microcuenca Cachimayo tales como: Formación San Sebastián, Formación Maras, Formación Anta y Grupo San Jeronimo.

Los datos del parámetro de porosidad fueron calculados en laboratorio geotécnico de suelos por el método de saturación de agua (contenido de humedad).

### 5.4.1 POROSIDAD

Es la relación entre el volumen de los poros o espacios vacíos de la muestra y su volumen total, se expresa en porcentajes.

Las pruebas de porosidad efectiva, en suelos no consolidados son de las formaciones San Sebastián y Maras, y en rocas son de las formaciones Anta y Kayra.

Para determinar la porosidad efectiva, los datos necesarios obtenidos del laboratorio, fueron los siguientes. (Figura. 11).

- Peso de la muestra húmeda (saturada).
- Peso de la muestra seca
- Volumen de la muestra.

Los resultados del cálculo de la porosidad efectiva se detallan en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{P_h - P_s}{V} \times 100$$

Donde:

$n$  = Porosidad (%)

$P_h$  = Peso de la muestra húmeda

$P_s$  = Peso de la muestra seca

$V$  = Volumen total de la muestra

Muestra 1	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	14.01	11.58	4.6	52.83	49.87 %
2	16.56	14.12	5.2	46.92	

Cuadro 5.1: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación San Sebastián

Muestra 2	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	20.67	19.87	7.3	10.96	11.01 %
2	21.29	20.46	7.5	11.07	

Cuadro 5.2: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Maras

Muestra 3	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	292.66	288.84	105.9	3.61	3.71 %
2	284.58	280.65	102.9	3.82	

Cuadro 5.3: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Anta

Muestra 4	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	288.29	285.77	104.8	2.40	2.45 %
2	268.97	266.53	97.7	2.50	

Cuadro 5.4: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Kayra.

#### 5.4.2 PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad de Darcy o permeabilidad K, es el volumen de agua libre que percola durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una sección total de la capa acuífera, bajo la carga producida por una gradiente hidráulica unitaria (dimensión en m/días o cm/seg).

Para su clasificación de permeabilidades se utilizó el modelo de E. Custodio y R. Llamas:

Valores (m/día)	PERMEABILIDAD										
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación del Acuífero	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	arcilla compacta granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa caliza fracturada		Arena limpia grava y arena. arena fina		Grava limpia		

Cuadro 5.5: Clasificación de Permeabilidad

Para determinar el coeficiente de Permeabilidad se realizo mediante el uso de un tubo PVC de 2" de diámetro, que consiste en medir el descenso del agua en un determinado tiempo. (Figura. 12).

El procedimiento a realizarse, se detalla a continuación:

- Se excava un pozo de 30 cm., de profundidad.
- Se coloca el tubo de PVC, en posición vertical.
- Se rellena el espacio sobrante entre el tubo y las paredes del pozo, con una mezcla de cemento y yeso; y se espera que seque.
- Se llena el tubo con agua registrándose el tiempo que ésta desciende.

Para el cálculo de la permeabilidad, se utilizó el método de carga variable, cuya relación es la siguiente:

$$K = \frac{Q}{5.5(RHT)}$$

Donde:

K = Permeabilidad (cm/s, cm/día).

Q = Agua gastada cada tiempo (cm³).

R = Radio del Tubo de PVC (cm).

H = altura del tubo (cm).

T = tiempo de descenso (seg).

### 5.4.3 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

A continuación se detallan los ensayos que se realizaron en el campo:

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	10.2	50	206.73	0.000328853	0.284
900	20.268	8.4	50	170.25	0.000270820	0.234
900	20.268	6.6	50	133.77	0.000212787	0.184
900	20.268	5.7	50	115.53	0.000183771	0.159
900	20.268	5.7	50	115.53	0.000183771	0.159
						<b>0.159</b>

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	6.6	50	133.77	0.000212787	0.184
900	20.268	6.0	50	121.61	0.000193443	0.167
900	20.268	4.8	50	97.29	0.000154754	0.134
900	20.268	4.8	50	97.29	0.000154754	0.134
900	20.268	4.8	50	97.29	0.000154754	0.134
						<b>0.134</b>

Cuadro 5.6: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación San Sebastián.

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
600	20.268	45	50	912.06	0.002176235	1.880
600	20.268	42	50	851.26	0.002031152	1.755
600	20.268	40	50	810.72	0.001934431	1.671
600	20.268	37	50	749.92	0.001789349	1.546
600	20.268	37	50	749.92	0.001789349	1.546
						<b>1.588</b>

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
600	20.268	43	50	871.52	0.002079513	1.797
600	20.268	39	50	790.45	0.00188607	1.630
600	20.268	37	50	749.92	0.001789349	1.546
600	20.268	35	50	709.38	0.001692627	1.462
600	20.268	35	50	709.38	0.001692627	1.462
						<b>1.490</b>

Cuadro 5.7: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Anta

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	1.1	50	22.29	3.54646E-05	0.031
900	20.268	0.7	50	14.19	2.25684E-05	0.019
900	20.268	0.6	50	12.16	1.93443E-05	0.017
900	20.268	0.5	50	10.13	1.61203E-05	0.014
900	20.268	0.5	50	10.13	1.61203E-05	0.014
						<b>0.014</b>

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	1.2	50	24.3216	3.86886E-05	0.033
900	20.268	0.9	50	18.2412	2.90165E-05	0.025
900	20.268	0.8	50	16.2144	2.57924E-05	0.022
900	20.268	0.6	50	12.1608	1.93443E-05	0.017
900	20.268	0.6	50	12.1608	1.93443E-05	0.017
						<b>0.019</b>

Cuadro 5.8: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Maras

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	3.90	50	79.0452	0.000125738	0.109
900	20.268	3.85	50	78.0318	0.000124126	0.107
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
						<b>0.107</b>

Tiempo (seg.)	Área (cm <sup>2</sup> )	Descenso (cm)	Carga (cm)	Gasto (cm <sup>3</sup> )	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	4.68	50	94.8542	0.000150886	0.130
900	20.268	4.60	50	93.2328	0.000148306	0.128
900	20.268	4.55	50	92.2194	0.000146694	0.127
900	20.268	4.50	50	91.2060	0.000145082	0.125
900	20.268	4.50	50	91.2060	0.000145082	0.125
						<b>0.127</b>

Cuadro 5.9: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Kayra

En resumen las permeabilidades de cada formación son:

Formación	Permeabilidades		Promedio Permeabilidad (m/día)	Calificación	Calificación del Acuífero	Tipo de materiales
San Sebastián	0.159	0.134	<b>0.15</b>	Algo permeable	Acuífero pobre	Arena limosa
Anta	1.588	1.49	<b>1.54</b>	Permeable	Acuífero medio a bueno	Grava y arena
Maras	0.014	0.019	<b>0.02</b>	Poco permeable	Acuitardo	Limo arenoso
Kayra	0.107	0.127	<b>0.12</b>	Algo permeable	Acuífero pobre	Arena fina

Cuadro 5.10: Resumen de los cálculos de Permeabilidad.

## 5.5 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA MICROCUENCA

Por su complejidad, tectónica, estructural, litológica y geomorfológica, presenta una diversidad en la distribución del agua subterránea. Esta agua subterráneas distribuidas en la zona de estudio, se localizan en zonas de laderas, montañas y en el piso del valle y se describen las características hidrogeológicas de los afloramientos en la microcuenca Cachimayo. (Mapa: 10)

### 5.5.1 ACUÍFEROS

Los principales acuíferos lo constituye el Grupo San Jerónimo (Formación Kayra), la Formación San Sebastián, la Formación Anta y los depósitos aluviales.

### **5.5.1.1 ACUÍFERO ANTA**

La Formación Anta es el acuífero más importante de la microcuenca Cachimayo, por ser una secuencia vulcano sedimentaria, compuesta por conglomerados con clastos esencialmente volcánicos intercalados con areniscas feldespáticas, limolitas rojas, muy fracturada y fisurada, cuyos estratos buzcan hacia el SE y SW a favor de la pendiente, concentrando el flujo de las aguas subterráneas hacia la parte baja de la microcuenca.

Tiene una porosidad efectiva 3.71% y permeabilidad 1.54 m/día, lo que permite un almacenamiento y una transmisividad regular.

### **5.5.1.2 ACUÍFERO SAN JERÓNIMO**

El Grupo San Jerónimo, es uno de los principales acuíferos de la microcuenca de Cachimayo, así como también de la Región, debido a que presentan las superficies de afloramientos más grandes de la microcuenca, y además por el gran espesor de las capas que pasan los 5000 m.

#### **5.5.1.2.1 ACUÍFERO KAYRA**

La Formación Kayra viene a ser un acuífero importante en la microcuenca Cachimayo, por su composición litológica, la distribución de sus granos y el amplio afloramiento que presenta.

Catalogado como un acuífero heterogéneo, con algunas secuencias de areniscas feldespáticas porosas, con matriz limosa a arena muy fina, poco cementadas, fracturadas, contienen buenos horizontes de acuíferos.

Del presente estudio, se llegó a la conclusión de que la distribución de los estratos de areniscas finas a gruesas, con intercalaciones de niveles de lutitas rojas hacia el techo, tiene una porosidad efectiva de 2.45 %, así como la permeabilidad de 0.12 m/día.

#### **5.5.1.3 ACUÍFERO SAN SEBASTIÁN**

La Formación San Sebastián, constituye un acuífero poroso no consolidado, por poseer alta porosidad y estar constituido por sedimentos cuaternarios de origen lacustre.

Permite el paso de las aguas de escorrentía superficial hacia los acuíferos inferiores cumpliendo así la labor de un acuífero, posee una porosidad efectiva de 49.87% y permeabilidad promedio de 0.15 m/día, que es poco variable, por constituir terrenos semi-homogéneos (Cárdenas & Pumayalli; 2004).

#### **5.5.1.4 ACUÍFEROS FLUVIALES**

Los depósitos fluviales se hallan formando el lecho y la base del río Cachimayo, se trata de gravas y arenas con buena porosidad de hasta 30%, así como un buen coeficiente de almacenamiento, hidrogeológicamente estos depósitos son considerados como acuíferos porosos no consolidados, por tener bancos de arena y gravas, y presentar una sedimentación reciente; el cual posee buena porosidad, transmisividad y buen coeficiente de almacenamiento.

La permeabilidad de los terrenos varían principalmente en función al tipo de material, granulometría, matriz y tamaño de grano, siendo los más permeables las gravas de clastos pequeños con diámetro promedio de 2 cm., cuyas permeabilidades varían entre 12 a 23 m/día y los mas

impermeables o semi-permeables, los limos arcillosos con permeabilidades de 2.88 a 17.28 m/día (Peña, F., 2001).

#### **5.5.1.5 ACUÍFEROS Y ACUITARDOS ALUVIALES**

Estos depósitos, que se presentan en forma de conos aluviales en la desembocadura de las quebradas transversales de la microcuenca Cachimayo; hidrogeológicamente tienen un comportamiento muy variable, es decir se pueden comportar como un acuífero poroso no consolidado e inclusive como un acuitardo, dependiendo de la naturaleza de los materiales que lo conforma y del terreno.

De otro modo son importantes porque son el medio de descarga de los acuíferos superiores hacia la parte baja donde en sus extremos (zonas distales) presentan gran cantidad de manantiales.

Los valores de la permeabilidad en estos terrenos son muy distintos, en vista de que la naturaleza de los materiales que lo conforman también es distinta, teniendo así permeabilidades muy bajas en sectores donde se presenta abundante matriz compuesto por materiales finos (limos y arcillas), mientras que en los sectores donde la permeabilidad es muy elevada se presenta abundancia de clastos y ausencia de matriz fina, especialmente en la parte alta de los conos zonas proximales (Cárdenas & Pumayalli, 2004).

#### **5.5.2 ACUITARDOS**

Los principales acuitardos lo constituye, la Formación Maras y Las Series Rojas de Quilque y Chilca.

### **5.5.2.1 ACUITARDOS MARAS Y ACUÍFEROS AYAVACAS**

La Formación Maras, actúa como nivel impermeable por su composición bastante fina, por estar constituido principalmente por lutitas, yesos y calizas, con una porosidad efectiva de 11.01% y permeabilidad promedio de 0.02 m/día.

Su importancia radica por que trabaja como umbral hidráulico favoreciendo el afloramiento de aguas subterráneas al contacto con los acuíferos (Peña, 2001; Peña et al, 2004).

Sin embargo la Formación Ayavacas, se puede comportar como acuíferos importantes, presentando una porosidad secundaria, por la disolución que sufren las calizas al contacto con el agua.

### **5.5.2.2 ACUITARDO QUILQUE Y CHILCA**

Las Series Rojas Quilque y Chilca, forman un solo conjunto de lutitas y limolitas rojas, estas series Rojas por encontrarse debajo de acuíferos potenciales facilitan el afloramiento de aguas subterráneas hacia la superficie o controla el flujo de las mismas (Peña et al, 2004).

### **5.5.3 ACUÍFUGOS**

Dentro de los acuífugos, tenemos a la Formación Puquín, por que ésta se comporta como la base impermeable de los acuíferos Kayra y Soncco en los sectores donde estos se pongan en contacto.

### 5.5.3.1 ACUÍFUGO PUQUIN

Hidrogeológicamente la Formación Puquín que es la más importante del Grupo Yuncaypata, está considerada como un Acuífugo, debido a que facilita el entrapamiento y descarga de las aguas subterráneas de los acuíferos aledaños (Cárdenas & Pumayalli, 2004).

### 5.6 INVENTARIO DE AFOROS DE AGUA

Para el inventario de fuentes de agua o aflujos de agua, se utilizó la información del departamento de Saneamiento Ambiental de la Municipalidad Provincial de Anta, se ubicó las fuentes existentes y cartografiándolas en un mapa base utilizando un GPS, y midiendo a su vez los caudales respectivos, con la finalidad de conocer la potencialidad de las unidades acuíferas. (Figura. 13). (Mapa: 11).

Nº	Unidad Geohidricas	Nombre del Aforo	Caudal (l/s)	Coordenadas	
				Norte	Este
1	Acuífero Anta	Waynapata	2.0	8501342	804552
2		Puyac	1.0	8502135	813664
3		7 pucyos	0.9	8505779	805267
4		Sambopucyo	2.4	8511326	803057
5		Quinsapujio	0.8	8506554	809226
6		Yanama	1.0	8509143	797299
7		Moyococha	3.0	8508640	791381
8		Ccoripata	3.5	8509990	790085
9	Acuífero San Jeronimo	Puitipucyo	1.1	8505055	817059
10		Manaycay	0.7	8506769	814662
11		Urpipucyo	0.5	8508840	808407
12		Ascapujio	0.7	8512402	795878
13		Huertahuayco	4.0	8515661	799763
14		Queñua	0.5	8513502	797229
15		Socomarca	4.5	8513350	790905
16	Acuífero San Sebastián	Cruzpata	1.5	8511234	789609
17		Triunfo	0.9	8504513	792651
18		San marcos	0.5	8510069	798278

19		Muskapucyo	0.4	8506053	801524
20		Chinchaypucyo	0.2	8508670	807871
21		San Cristóbal	0.4	8510736	808997
22		Chacca	0.3	8510688	807563
23		Sancomolino	1.2	8510254	806538
24		<b>Machaybamba</b>	0.6	8511022	805157
25	<b>Acuitardo Maras</b>	Sujapucyo	0.4	8510162	821011
26		<b>Agua dulce de Chaca</b>	0.2	8511033	819330
27		Maripucyo	0.1	8513726	811535
28		Machaycuntu	0.3	8514297	808639
29		Antapunco	0.3	8512412	806257
30		Chaquepay	0.4	8517242	804759

Cuadro 5.11: Inventario de afloros de agua.

En los flancos de la microcuenca, predominan los mayores acuíferos, que están ligados a estructuras rocosas fisuradas, con promedio de caudal de 1.1 lts/seg.

Los principales descargas de caudal son de los acuíferos: Anta con promedio de caudal de 1.8 lts/seg, y San Jeronimo de 1.7 lts/seg, de caudal y San Sebastián con 0.7 lts/seg, de caudal.

## 5.7 CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

La calidad de un agua subterránea depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de la velocidad de circulación, de las relaciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de las sustancias transportadas por el agua.

El análisis químico ha tenido como objeto determinar los cationes y aniones mayoritarios fundamentales del agua subterránea en la cuenca a fin de determinar el origen y tipo de acuífero y destino de uso.

El análisis fisicoquímico fue realizado en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas (Universidad Nacional San Antonio

Abad del Cusco), en dichos análisis se determinaron elementos mayoritarios como: Ca, Mg, Na, K, Fe; entre otros cationes así como Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>; entre otros aniones y en campo se determinaron algunos parámetros como Conductividad Eléctrica (C.E.) y salinidad.

### 5.7.1 ANÁLISIS QUÍMICO

Para el análisis correspondiente se ha realizado una campaña de muestreo, recogiendo un litro de agua de cinco muestras representativas en los puntos de agua importantes que descargan en las diferentes unidades geohidricas de la microcuenca. Estas muestras se analizaron en la Unidad de Prestaciones de Servicios de Análisis Químico del Departamento Académico de Química (UNSAAC), donde se ha determinado los elementos iónicos mayoritarios disueltos del agua (Cationes: Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio; Aniones: Cloruros, Sulfatos, Hierro, Carbonatos y Bicarbonatos, cuyas concentraciones se encuentran en ppm), los cuales nos permitirán determinar la calidad de las aguas para su posterior uso, sea para consumo humano, riego o ganadería.

Los aflores de agua de donde se ha tomado las muestras son los siguientes:

Afloros	Unidad geohidrica
Machaybamba	Acuífero San Sebastián
Quinsapujio	Acuífero Anta
Ascapujio	Acuífero Kayra
Agua dulce de Chaca	Acuitardo Maras
Socomarca	Acuífero Kayra

Cuadro 5.12: Relación de muestras de afloros de agua.

La toma de muestras para el análisis químico, proceden en su mayoría de los diferentes acuíferos ubicados en la parte alta de la microcuenca.

### 5.7.2 EQUIVALENTE QUÍMICO

Los resultados de los análisis químicos realizados en el laboratorio se expresan en miligramo por litro. Con la finalidad de combinar en una unidad de masa determinada se transforma estos valores con el término de equivalente de litro, (meq/l). (Apaza D., 1990)

Cationes	Masa Atómica	Valencia	Equivalente
Ca <sup>++</sup>	40	2	20
Mg <sup>++</sup>	24	2	12
Na <sup>+</sup>	23	1	23
K <sup>+</sup>	39	1	39
Aniones	Masa Atómica	Valencia	Equivalente
Cl <sup>-</sup>	35.5	1	35.5
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	96	2	48
HCO <sub>3</sub>	61	1	61

Cuadro 5.13: Equivalentes químicos de cationes y aniones.

El Equivalente Químico; que viene a ser el cociente entre la masa atómica del elemento considerado y su valencia.

Aforo	Cationes (meq/l)				Aniones (meq/l)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
<b>Machaybamba</b>	9.12	1.99	4.14	0.53	3.57	3.50	6.50
Total	<b>15.78</b>				<b>13.57</b>		
<b>Quinsapujio</b>	1.48	0.46	0.70	0.07	1.75	0.59	0.27
Total	<b>2.72</b>				<b>2.61</b>		
<b>Ascapujio</b>	2.28	0.81	0.84	0.09	2.34	1.03	0.53
Total	<b>4.02</b>				<b>3.91</b>		
<b>Agua dulce de Chaca</b>	2.85	0.73	0.90	0.09	2.56	1.16	0.73
Total	<b>4.57</b>				<b>4.46</b>		
<b>Socomarca</b>	2.89	0.48	0.67	0.11	2.22	1.28	0.50
Total	<b>4.15</b>				<b>4.00</b>		

Cuadro 5.14: Composición química de los aforos en unidades absolutas.

Con los resultados obtenidos y convertidos en meq/l, la suma de los Cationes y Aniones no son iguales, en ninguna de las muestras. Esta diferencia indica que las muestras tengan un ligero grado de error, que

procede del análisis efectuado en el laboratorio o de la recolección de muestras en el campo, donde puede influir la temperatura ambiental, sin embargo, estos errores están dentro de un rango aceptable.

### 5.7.3 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS POR IONES DOMINANTES

Para la clasificación de la aguas, se determinaron los cationes y aniones más abundantes, estableciendo el porcentaje de cada elemento en relación con la concentración en equivalentes, obteniéndose las cantidades en relación porcentual, obteniendo como resultado los pesos de determinada sustancia analizada y predominancia en las aguas.

Aforo	Cationes Dominantes	Aniones Dominantes
Machaybamba	Ca > Na > Mg	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub>
Quinsapujio	Ca > Na > Mg	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl
Ascapujio	Ca > Na > Mg	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl
Agua dulce de Chaca	Ca > Na > Mg	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl
Socomarca	Ca > Na > Mg	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl

Cuadro 5.15: Clasificación iónica de afloros

De los resultados obtenidos en el cuadro 5.15, se obtiene las formulas iónicas de los análisis de las aguas que afloran, según los lones predominantes de la siguiente forma:

- Aforo Machaybamba:

Machaybamba	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub>	Ca > Na > Mg
-------------	---	--------------

Agua Clorurada Cálcica, Bicarbonatada Sódica

- Aforo Quinsapujio:

Quinsapujio	HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca > Na > Mg
-------------	---	--------------

Agua Bicarbonatada Cálcica, Sulfatada Sódica.

- Aforo Ascapujio:

<b>Ascapujio</b>	$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$
------------------	--	-------------------------------------

Agua Bicarbonatada Cálcica, Sulfatada Sódica.

- Aforo Agua dulce de Chaca:

<b>Agua dulce de Chaca</b>	$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$
----------------------------	--	-------------------------------------

Agua Bicarbonatada Cálcica, Sulfatada Sódica.

- Aforo Socomarca:

<b>Socomarca</b>	$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$
------------------	--	-------------------------------------

Agua Bicarbonatada Cálcica, Sulfatada Sódica.

Del análisis de estas formulas iónicas, podemos indicar que existe una predominancia del Calcio y Bicarbonatos.

La predominancia a los Cationes: Calcio y Sodio, se debe a que estas aguas en su circulación interna por los acuíferos fisurados de la parte alta atravesaron componentes mineralógicos como la plagioclasa cálcica (anortita), y feldespatos sódicos (albita), ocasionando procesos de dilución, esta combinación son los que forman los valores elevados del Ca y Na.

El anión predominante de cloruro en el aforo Machaybamba, viene probablemente del lavado de los terrenos limosos, este anión proceden también del intercambio iónico con las arcillas que forman el techo acuífero poroso no consolidado del cuaternario (Acuífero San Sebastián) por donde afloran estas aguas.

La predominancia del ion Bicarbonato viene de la hidrólisis del silicato, en presencia del  $\text{CO}_2$ , este fenómeno es común en rocas volcánicas.

#### 5.7.4 DIAGRAMAS LOGARÍTMICOS DE POTABILIDAD

Los resultados de los análisis fisicoquímicos son plasmados en los diagramas logarítmicos de potabilidad, con el objetivo de definir el grado de potabilidad, comparación de las aguas entre si y el cálculo de las relaciones características.

- De las muestras analizadas de los 5 aforos, los iones de Mg, Na, SO<sub>4</sub>, y HCO<sub>3</sub>; se encuentran dentro del rango de potabilidad como “buena”.
- Los iones Ca y Cl, se encuentran en el rango de potabilidad de “aceptable” a “buena”.
- La dureza (CaCO<sub>3</sub>), son elevados, en el rango de potabilidad “mala”, el aforo de Machaybamba está en rango de “no potable”, por ser altamente salino.
- El pH es un poco ácido, pero dentro de los límites de potabilidad permisibles; el pH de estas muestras son mayores a 7.00, manifestando que tienen cierto grado de alcalinidad.

Del análisis de potabilidad de las muestras, en su mayoría se encuentran dentro de los rangos potables para el consumo humano, a excepción del Aforo Machaybamba, que no es potable, pero si aceptable para el uso agrícola.

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

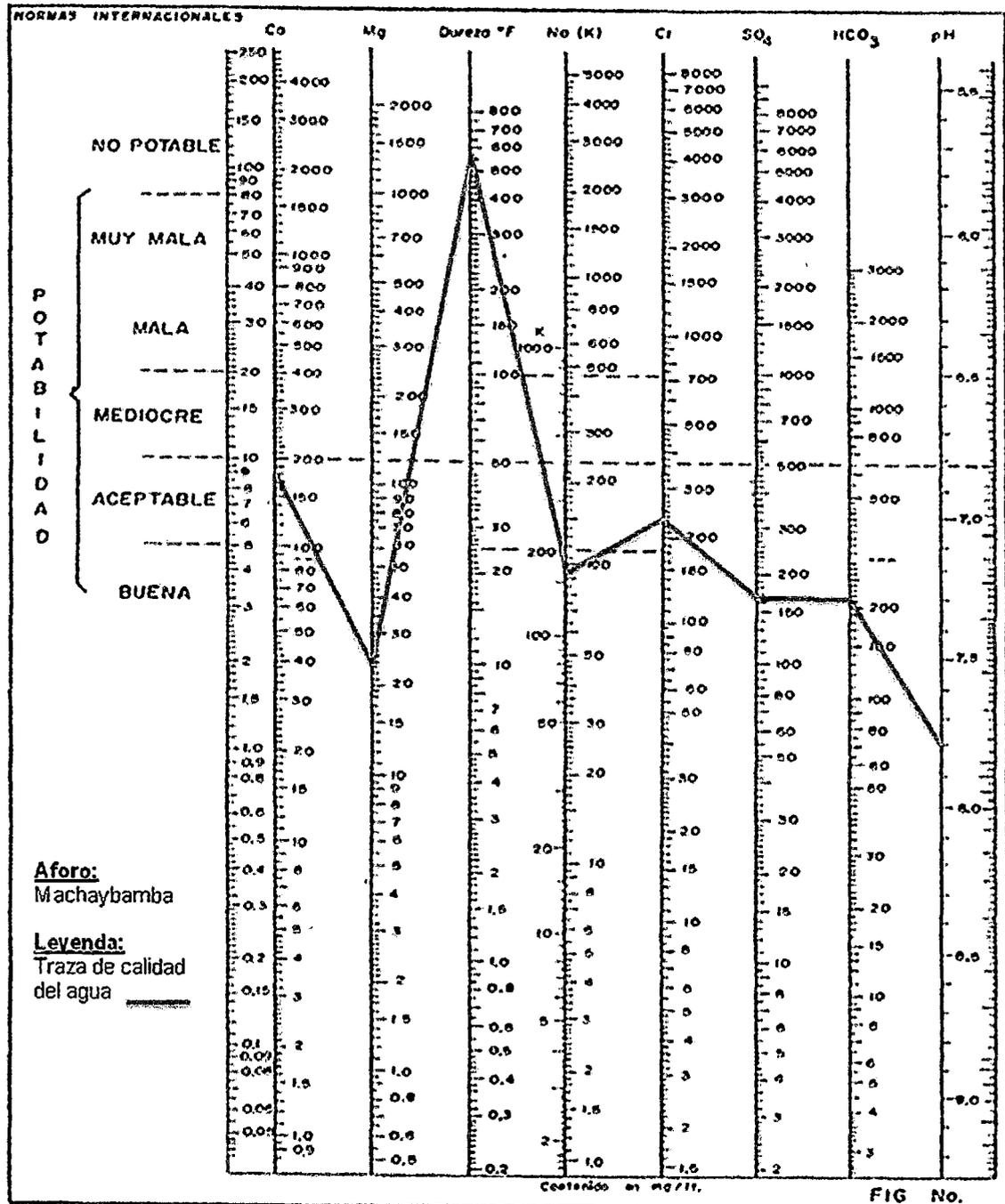


Gráfico 5.10: Diagrama de potabilidad del aforo Machaybamba.

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

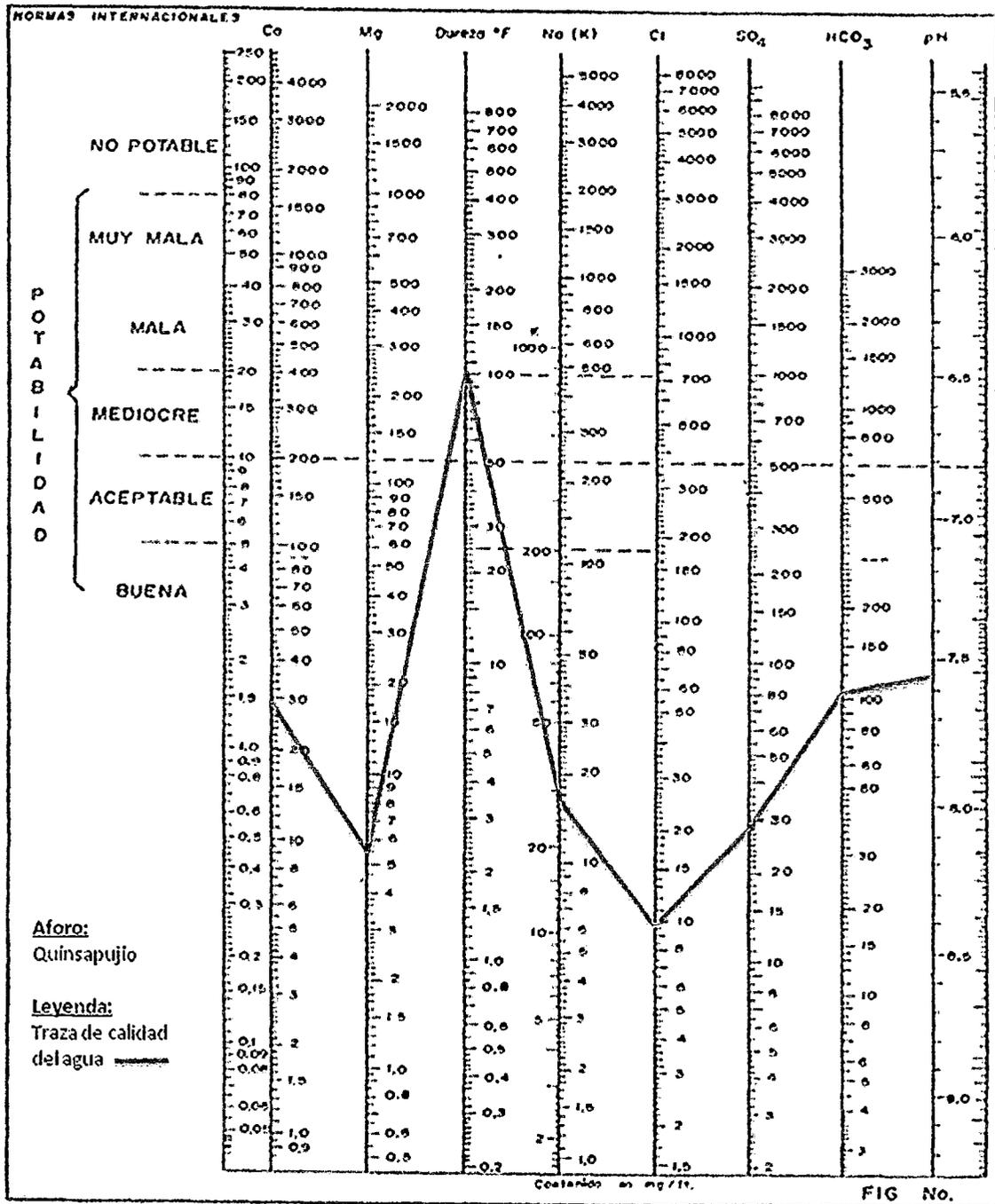


Gráfico 5.11: Diagrama de potabilidad del aforo Quinsapujio.

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

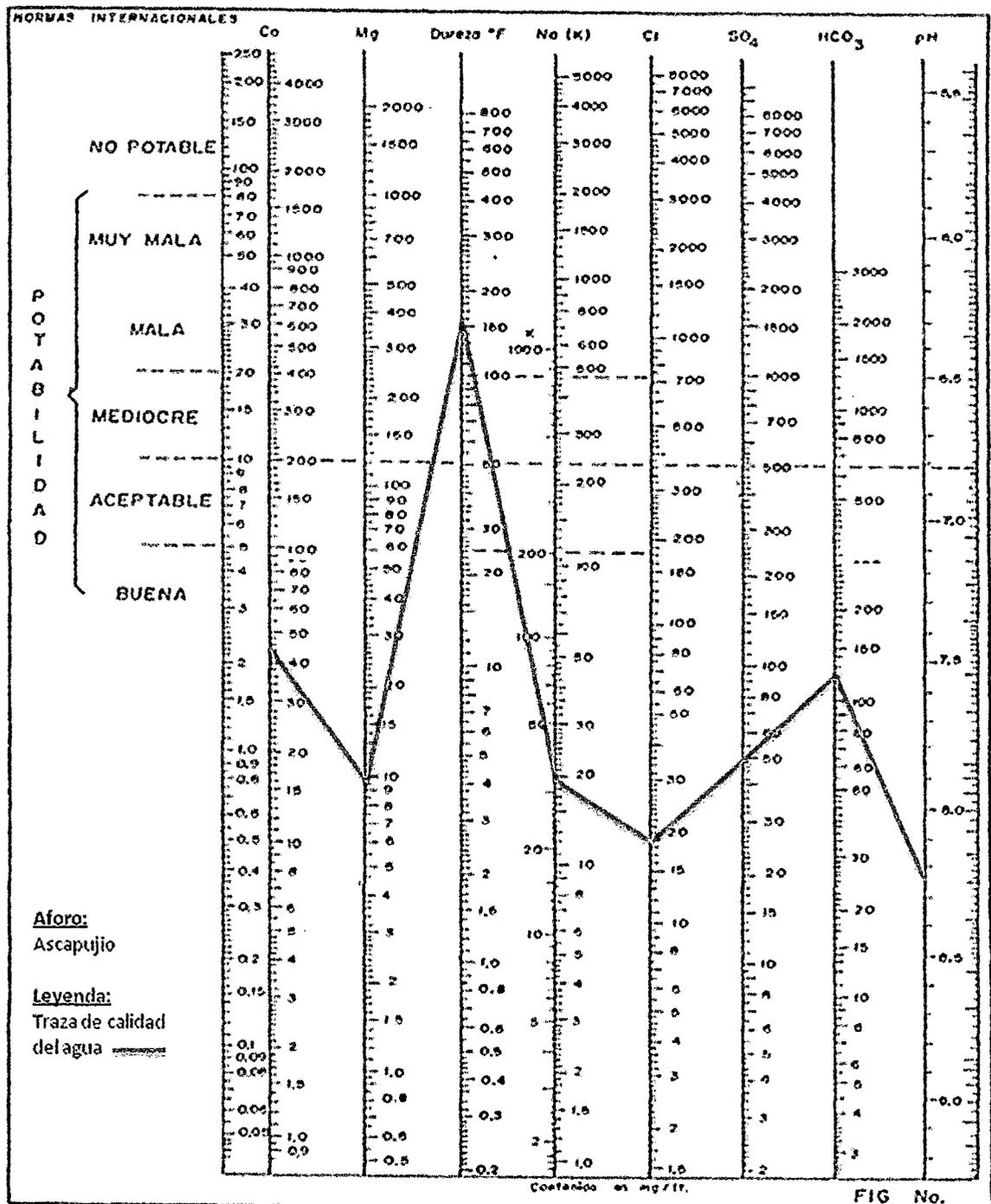


Grafico 5.12: Diagrama de potabilidad del aforo Ascapujio.

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

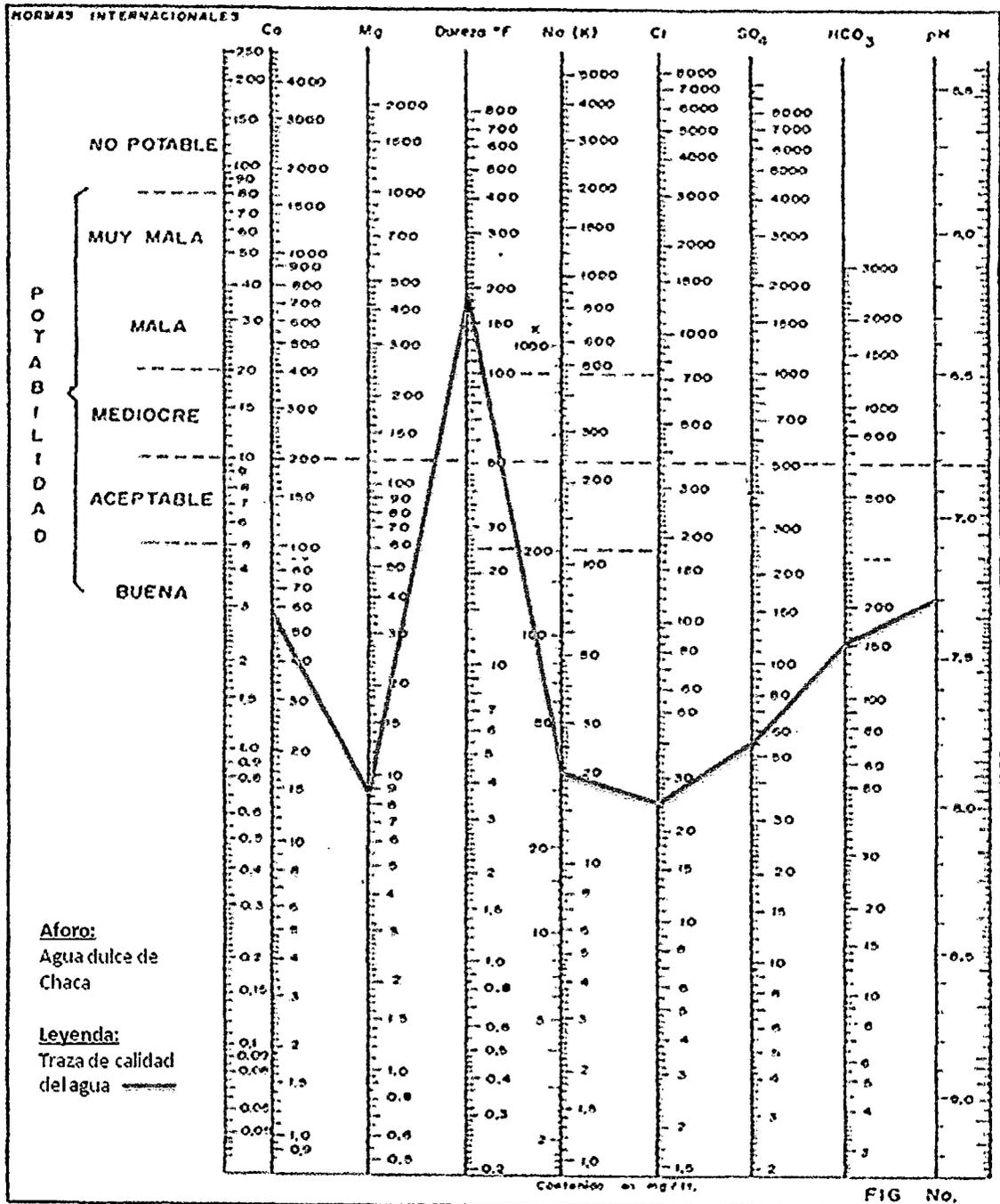


Grafico 5.13: Diagrama de potabilidad del aforo Agua dulce de chaca.

DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

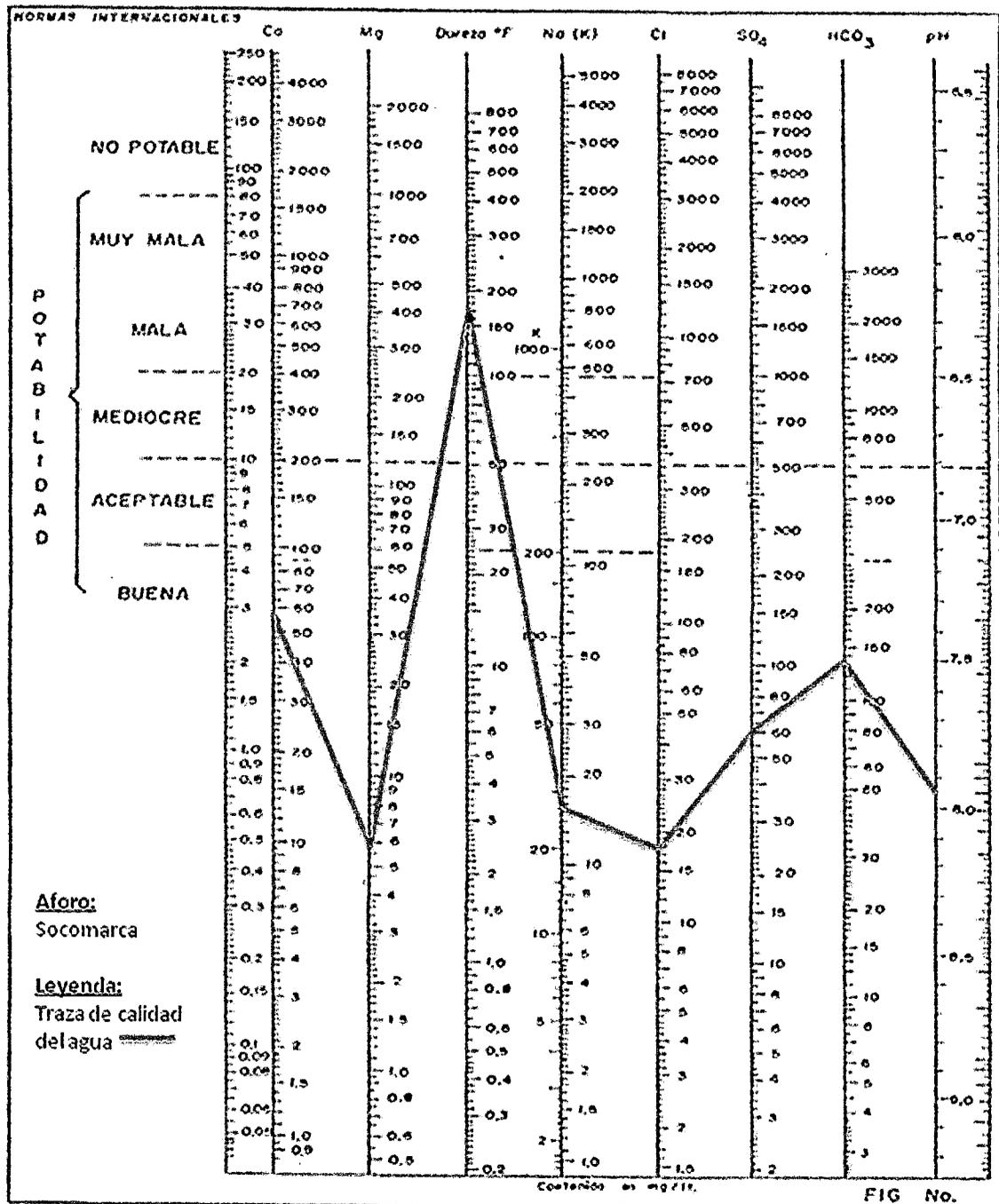


Grafico 5.14: Diagrama de potabilidad del aforo Socamarca.

## **CAPITULO VI**

### **GEODINAMICA**

#### **6.1 GEODINÁMICA INTERNA**

A lo largo de todos los andes peruanos se observan fallas activas que son causa de los esfuerzos que produce la subducción sobre la Placa continental Sudamericana. Es así, en la región del Cusco se ubican dos sistemas de fallas activas importantes, sistemas de fallas que podrían estar relacionadas con sismos de magnitudes variables ocurridos en los años 1581, 1590, 1650, 1707, 1744, 1746, 1905, 1928, 1941, 1943, 1950, 1965, 1980 y 1986 (Esquivel y Navia, 1775 & Silgado, 1978). La región del Cusco, es una región de alta sismicidad, debido al sistema de fallas existentes en el área, por lo tanto está expuesta a un peligro sísmico; En la actualidad se cuenta con una relación de sismos compilada a partir de los últimos 30 años de instrumentación sísmica realizada por el Instituto Geofísico del Perú y de crónicas históricas donde mencionan la ocurrencia de grandes sismos.

Estas fuentes resultan insuficientes para realizar trabajos sobre el peligro sísmico que representan las fallas activas para la región del Cusco, ya que los sismos más importantes podrían estar separados por periodos de tiempos mayores que los conocidos por registros instrumentales e históricos.

##### **6.1.1 SISMICIDAD**

La sismicidad del territorio nacional es alta y está íntimamente relacionado al Proceso Tectónico de Subducción. La mayor cantidad de sismos ocurre en la franja costera del país, además los epicentros en la zona sur son mayormente continentales. Los sismos de la región del Cusco se enmarcan dentro de la sismicidad intra placa. A nivel regional, la actividad sísmica está relacionada a

una zona de fallas activas que se emplazan separando en alguna medida la unidad morfoestructural de las Altiplanicies y la Cordillera Oriental en el sur del territorio peruano. El sistema de falla abarca una franja con más de 100 km de longitud que se extiende entre el NE de Abancay y el SE del Cusco, luego hacia el SE, se presenta otro sistema de fallas denominado Vilcanota (Cabrera 1998). Tomando en cuenta la distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el ámbito de la región sur oriental del Perú, resulta que gran parte del Departamento Apurímac se halla dentro de un área que alcanza hasta el grado de IX en la escala de intensidades de Mercalli Modificada (Alva-Hurtado et-al 1984, J. Cuenca, 1991).

#### **6.1.1.1 SISMICIDAD LOCAL**

Teniendo en cuenta las características geológicas y geomorfológicas de la zona, circunscrito dentro del levantamiento andino, y la información sísmica registrada por el Instituto Geofísico del Perú. El registro cronológico de la actividad sísmica en la región (1581 – 1994), demuestra que la zona de estudio se encuentra ubicada dentro del área sísmicamente activa, donde ocurrieron movimientos sísmicos con graves daños materiales en los departamentos de Apurímac y Cusco.

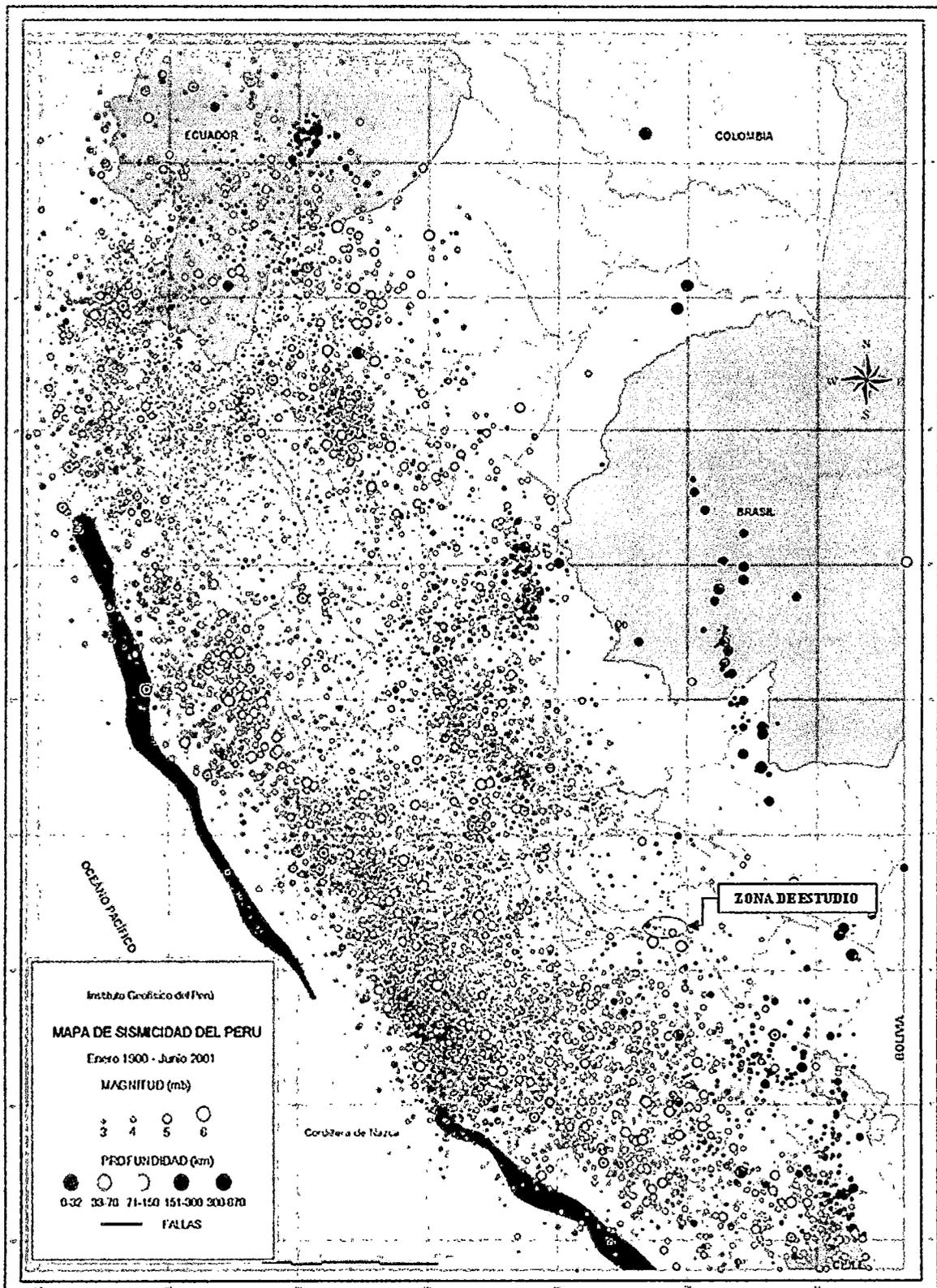


Gráfico 6.3: Mapa de Sismicidad del Perú en la zona de estudio. Fuente IGP (1900-2001)

Del análisis del mapa de sismicidad del Perú, el área del estudio, tectónicamente se ubica en la parte interior de una flexión de la cordillera Oriental, a partir de lo cual parece iniciarse una zona de Transición Sismotectónica que separaría regiones sismotectónicas al norte y sur con sus características geofísicas y geológicas algo diferentes y se halla ubicada entre los paralelos 13° y 14° de latitud sur (Deza, 1972). Esta zona de transición coincide parcialmente con lo que también se conoce como la Deflexión de Abancay. La zona de transición parece estar definida por numerosos alineamientos E-W, (Cabrera, 1988), de los primeros análisis epicentrales de sismos ocurridos, también en la zona de estudio existen hipocentros muy superficiales (0-32 Km) y superficiales (33-70 Km), con magnitudes de 4 a 5 mb. Los sismos que se presentan al sur de la microcuenca Cachimayo, son abundantes y de carácter intermedio (71-300 Km.), se relaciona con una estructuración de bloques (Deza, 1985; Ascue, 1997).

En general los sismos de esta área por su origen, son de carácter tectónico y pueden estar catalogados en dos categorías:

- Sismos intraplacas con profundidades mayores a 70 Km. relacionados con la interacción de las placas de Nazca y Sudamérica.
- Sismos intraplacas, con profundidades menores a 70 Km. relacionada a una estructuración intraplaca en bloques, ligadas a fallamientos profundos (Ascue, 1997).

#### **6.1.1.2 CATALOGO SÍSMICO LOCAL Y REGIONAL**

En la región del Cusco hay un sistema de fallas importantes como Tambomachay, Qoricocha, Zurite, Pisac, Pomacanchis, Urcos, Acomayo, Pampamarca, Langui, Capacmarca, Pachatusan, Paucartambo, Yauri; los epicentros de los sismos de los últimos 10 años se emplazan en las zonas

de las fallas geológicas, lo que nos demuestra que el sistema de fallas sísmogénicas son activas.

Año	Mes	Día	Hora	Latitud	Longitud	Prof.	Magn. (Mb)	Ubicación
1999	10	17	05:03:03.20	-13.99	-71.92	10	3.5	8 km al NE de Capacmarca
1999	11	6	16:07:47.50	-13.45	-71.98	10	2.7	6 km al N del Cuzco
1999	11	27	02:32:13.10	-15.03	-71.62	10	4.8	35 km al SW de Yauri
<b>2000</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>14:37:10.80</b>	<b>-13.70</b>	<b>-72.11</b>	<b>10</b>	<b>3.4</b>	<b>26 km al S de Anta</b>
2000	4	7	21:16:13.10	-11.27	-73.13	10	4.3	91 km al SE de Atalaya
2000	9	21	15:30:41.10	-13.33	-72.07	10	3.1	22 km al NW de Cuzco
2001	2	12	21:22:31.30	-13.48	-72.01	10	2.2	5 km al NW de Cuzco
<b>2001</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>15:21:52.10</b>	<b>-13.61</b>	<b>-72.23</b>	<b>10</b>	<b>3.6</b>	<b>17 km al SW de Anta</b>
2003	5	12	09:46:13.70	-13.63	-71.66	10	3.5	7 km al NW de Urcos
2003	5	16	15:36:24.50	-13.57	-72.06	10	3.0	11 km al SW de Cuzco
2003	5	18	03:49:44.70	-13.56	-71.89	10	3.5	11 km al SE de Cuzco
2003	5	25	18:54:19.50	-13.94	-72.52	10	4.5	27km NE Chuquibambilla
<b>2003</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>17:38:20.30</b>	<b>-13.45</b>	<b>-72.25</b>	<b>10</b>	<b>3.7</b>	<b>12 km al NW de Anta</b>
<b>2003</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>07:17:36.00</b>	<b>-13.36</b>	<b>-72.32</b>	<b>10</b>	<b>3.8</b>	<b>23 km al NW de Anta</b>
2003	8	8	14:56:26.00	-14.11	-71.79	10	5.0	22 al SE de Capacmarca
2003	8	8	15:38:11.10	-14.12	-71.82	10	4.9	20 al SE de Capacmarca
<b>2003</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>07:14:43.30</b>	<b>-13.45</b>	<b>-72.46</b>	<b>10</b>	<b>3.6</b>	<b>33 km al W de Anta</b>
2004	6	16	14:56:19.66	-13.70	-71.31	10	2.5	33 km al E de Urcos
2005	7	11	07:40:34.17	-14.90	-72.92	10	3.2	35 km al N de Cotahuasi
2005	7	20	18:20:02.24	-13.94	-71.71	10	2.7	4km al SW de Acomayo
2005	9	5	14:22:36.16	-14.49	-71.61	10	3.8	37km al SW de Yanaoca
2006	6	1	12:04:24.85	-14.08	-72.26	10	2.9	29km SW de Capacmarca
2006	8	9	22:36:02.21	-14.39	-70.91	10	4.7	37km al S de Macusani
2006	11	13	07:49:37.00	-13.90	-71.69	10	4.7	2km al NW de Acomayo
2006	11	13	07:55:22.21	-13.83	-71.66	10	4.0	9km al NE de Acomayo
2007	9	24	02:24:55.46	-12.93	-71.61	10	3.7	43km N de Paucartambo
2009	2	15	01:02:30.08	-13.66	-71.86	10	2.7	11km al N de Paruro
2009	5	11	20:43:20.89	-13.96	-71.61	10	4.0	9km al SE de Acomayo
<b>2009</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>06:10:54.00</b>	<b>-13.50</b>	<b>-72.19</b>	<b>10</b>	<b>4.0</b>	<b>Anta, Zurite, Huarocondo</b>

Cuadro 6.1: Catálogo sísmico, reprocesado por C. Barrientos en el IGP.

### 6.1.1.3 RIESGO SÍSMICO

El Riesgo Sísmico es directamente proporcional al Peligro Sísmico por la Vulnerabilidad. El peligro sísmico es el sistema de fallas sísmogénicas activas, ya que dependiendo de su naturaleza y fuerza se tendrá como posibles efectos locales, licuación de suelos, amplificación, vulnerabilidad de las construcciones y las posibles pérdidas de vidas y bienes materiales. La microcuenca de Cachimayo corresponde a una depresión

Intercordillerana ubicada al límite de las Altiplanicies y Cordillera Oriental; ellas muestran deformaciones cuaternarias compresionales y extensionales que dieron como resultado un sistema de fallas siendo el más importante en la zona de estudio la Falla de Zurite (20 km) generador del peligro sísmico, (Gregory, 1916).

#### **6.1.1.2.1 PELIGRO SÍSMICO**

En sismología "Peligro sísmico o amenaza sísmica" es la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo. El conocimiento de esta probabilidad es importante para constructores, ingenieros y planificadores. Son los sismos Intraplaca y se caracterizan por tener magnitudes moderadas a pequeñas, adicionadas a ellas la sedimentación cuaternaria en la microcuenca de Cachimayo es fluvial, arenas, limos, arcillas y gravas (Formación San Sebastián y depósitos aluviales) los cuales constituyen suelos blandos poco cohesivos, dichos suelos tienen aceleraciones altas y favorecen las amplificaciones de las ondas sísmicas. Aproximadamente cerca del 80% de las construcciones de los más importantes poblados se emplazan en la Formación San Sebastián.

#### **6.1.1.2.2 MÉTODO DETERMINISTICO**

Este método supone que la sismicidad futura será similar a la pasada, siendo el máximo terremoto ocurrido el máximo previsible. Es un proceso en que repitiendo los mismos parámetros en un evento, sabemos con seguridad absoluta si ocurrirá o no cierto resultado; se basa en la relación de daños en estructuras de sismos anteriores con la intensidad sísmica. La cantidad de datos necesarios para el análisis es incompleta para varias estructuras. Los diferentes diseños, construcciones y factores locales del

suelo dan como resultado que la información existente tenga un valor limitado.

Las cuencas son rellenos sedimentarios que absorben energía sísmica y la amplifican para determinados períodos. Al igual que los péndulos, las edificaciones poseen su propio período natural de oscilación. Cuando estos períodos coinciden con los naturales o de resonancia del subsuelo, se produce una doble resonancia que provoca la caída de edificios y estructuras.

Del sistema de fallas regionales activas, la falla de Zurite es directamente responsable de los eventos sísmicos ocurridos en la microcuenca. Utilizando el método Determinístico de Aceleración, (Steinmom, 1982), se calcula los probables daños a la infraestructura en los principales poblados de la microcuenca que son: Ancahuasi, Zurite, Huarocondo, Anta, Pucyura y Cachimayo, (Cuando  $A > 250$  gal. las construcciones empiezan a sufrir daños).

- **Falla de Zurite:** Se encuentra en el NW de la microcuenca Cachimayo, antes esta falla ha jugado como falla de rumbo sinextral e inversa, pero en el cuaternario como normal de extensión N-S, con pequeños escarpes, el sismo del 2 de Julio del 2009 caracteriza la actividad reciente de la falla.

$$A = 224e^{0.823Ms} (R+C (M))^{-1.56}$$

Donde:

A= Aceleración (1 gal = 1cm/seg<sup>2</sup>)

Ms=  $0.89 + 1.341 \log L$

C (M)=  $0.864e^{0.46Ms}$

R= Distancia del poblado a la falla (km)

L= Longitud de la falla: 20,000 m.

Realizado los cálculos se tiene:

Poblado	R (km)	A (gal)
Zurite	2	478.6
Ancahuasi	2.6	457
Huarocondo	7	338
Anta	14	229.8
Pucyura	17.7	193.8
Cachimayo	22	162.3

Cuadro 6.2: Aceleraciones de los poblados cercanos a la falla Zurite.

Dependiendo de la intensidad sísmica producida por la falla Zurite, los poblados de Zurite, Ancahuasi y Huarocondo serian los más dañados en su infraestructura.

## 6.2 GEODINÁMICA EXTERNA

### 6.2.1 PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASAS

La remoción de masas o también conocido como movimiento de masas es utilizado en su mayoría en la zona de estudio, como la clasificación de movimientos en masa de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988). Varnes emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos.

#### 6.2.1.1 CAÍDAS

De acuerdo a su mecanismo de su ocurrencia, adopto la clasificación de dos tipos:

### **6.2.1.1.1 CAÍDA DE ROCAS**

La caída o desprendimiento de rocas está asociado a terrenos de fuerte pendiente, morfología abrupta, diferente naturaleza litológica (metamórfico, intrusivo, volcánico y sedimentario) afectados por discontinuidades planares cuña o mixtas (fracturas, diaclasas, foliaciones paralelas a los taludes). Ocurren en taludes artificiales, laderas de valles, valles encañonados. Afectan a tránsito normal de caminos principales, trochas, rurales y herraduras y vías férreas.

Ejemplo:

- Km 2+600 y km 4+500, de vía Huarcocondo - Pachar, caída de bloques sueltos sobre la ladera proveniente de afloramientos de caliza y yeso interestratificados de la parte superior. Afecta: la vía afirmada. (Figura. 14).

### **6.2.1.2 DESLIZAMIENTOS**

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña.

### 6.2.1.2.1 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un sólo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981). El *deslizamiento en cuña* (wedge slide), es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos

Afectando:

- Taludes de cortes de carreteras principales, caminos rurales, vías férreas.
- Poblado, obras de envergadura.

Ejemplo:

- Población de Izcuchaca, deslizamientos de roca en cuña y fracturado producto de la saturación de lluvias copiosas. Afecta: población y vía asfaltada.
- Km 45 + 800, vía férrea Cusco-Ollantaytambo (rio Huarcoondo). Deslizamientos traslacional de rocas, producto del socavamiento del rio en el pie de talud. Afecta: vía férrea. (Figura. 15).

#### **6.2.1.2.2 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

Su origen está asociado a diversos factores como:

- Rocas, suelos o ambos de diferente naturaleza con características desfavorables (fracturamiento, meteorización, inclusión de sales).
- Variación de las características hidrogeológicas y estructurales (sobresaturación, presión intersticial, cohesión, fracturamiento) que modifiquen las condiciones naturales, desencadenado su proceso.
- Áreas con índices de precipitación alta.

- Pendiente del terreno (desde laderas con fuerte pendiente hasta zonas con suave pendiente).
- Actividad antrópica: modificación de taludes naturales, mal uso del recurso de agua (riego), deforestación.
- Reactivación de antiguos deslizamientos.
- Actividad sísmica.

Ejemplo:

- Km 44 + 500, vía férrea Cusco-Ollantaytambo (rio Huarcocondo), zona de deslizamiento en la margen izquierda del rio Huarcocondo, se observan varias escarpas en la ladera, hay asentamientos de suelos, areniscas fracturadas, pendiente del talud de corte  $>40^\circ$ , precipitaciones pluviales intensas. Afecta: vía férrea. (Foto. 16).
- Km 12 + 400. Vía Cusco-Urubamba (Cachimayo), zona deslizamiento en talud de vía asfaltada. Afecta: vía asfaltada, postes de transmisión eléctrica.
- Población Izcuchaca, zona de deslizamiento con escarpas en ladera de areniscas fracturadas y saturadas en pendiente de talud de corte  $>50^\circ$ . Afecta: población.
- Km 8 + 600, km 10 +300, zonas de deslizamientos con agrietamientos y asentamientos en la plataforma de la vía afirmada Anta - Kasacunca. Afecta el talud inferior y superior de la vía en una longitud aproximada de 15 a 20 m.

### 6.2.1.3 FLUJOS

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de

movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen varios tipos: flujo de detritos, flujos de lodos y avalanchas de detritos y lodo.

#### **6.2.1.3.1 FLUJO DE DETRITOS**

Es un flujo muy rápido (3 m/min) a extremadamente rápido (5 m/s) de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal, cauce o quebrada con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos, ocurren en quebradas confinadas en laderas de valles intramontañosos, quebradas afluentes de valles principales con amplias cuencas de recepción, quebradas donde se dan: índices de pluviosidad estacional alta, periódica u ocasional. Afectan: caminos y carreteras, áreas de cultivo y áreas pobladas.

Ejemplo:

- Km 3 + 500 Vía afirmada Huarcoondo – Pachar: substrato constituido por capas rojas intercaladas con yesos y calcita extremadamente fracturadas y moderadamente meteorizadas, pendiente abrupta  $>50^\circ$ , lluvias abundante excepcionales, flujo de detritos que interrumpió trocha Afecta: 150 m de trocha. (Figura. 17).

#### **6.2.1.4 MOVIMIENTOS COMPLEJOS**

Combinación de dos tipos comunes de peligro, las combinaciones encontradas son principalmente del tipo: deslizamientos – flujos, desde

pequeñas hasta dimensiones kilométricas, con gran movimiento de masas que represan valles principales o tributarios. También se distinguen caídas – deslizamientos, deslizamiento rotacional – traslacional, deslizamiento – flujos de detritos, asociados a laderas de fuertes pendientes con caídas de bloques, erosión de laderas – caídas, erosión de laderas – flujos y otras combinaciones.

Ejemplo:

- El día 28 de enero del 2010, ocurrió un fenómeno de movimiento en masa compuesto, es decir, un deslizamiento mayor que se originó en la parte alta de la quebrada Qenqo. La escarpa de la cabecera mayor es de forma semicircular, tiene un punto máximo a 4255 msnm y está constituida, además de la escarpa principal ya deslizada por una serie de grietas tensionales que indican que este deslizamiento, del tipo rotacional, aun sigue activo. El ancho de la escarpa medida paralelamente a las curvas de nivel, es mayor a los 200 m con un desnivel entre 50 y 100 m. La pendiente actual es de aproximadamente 45°; pero menor al que existía antes del deslizamiento, lo que indica cierta estabilización del material. Gran parte del material deslizado se transformó en una serie de flujos detríticos que recorrieron más de 4 km. Antes de llegar al poblado de Zurite. Posteriormente, los días 06 de febrero y el 13 de febrero, nuevas reactivaciones del deslizamiento principal originaron nuevos flujos; los que tuvieron consecuencias más destructoras en el poblado de Zurite. Porque el área está caracterizada por presentar afloramientos de rocas sedimentarias y en menor proporción rocas intrusivas. El deslizamiento que dio lugar a los flujos de detritos se desarrolló sobre rocas intrusivas fuertemente fracturadas que cortan areniscas y lutitas del Grupo San Jerónimo y las calizas Ayavacas del Grupo Yuncaypata. Estas calizas y los intrusivos están controlados por un sistema de fallas NW-SE que son transversales al

sistema de fallas inversas de Zurite de orientación E-W. En consecuencia el control litológico, estructural y las precipitaciones intensas han sido importantes para la formación y activación del deslizamiento. (Figura. 18).

## **6.2.1.5 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS**

### **6.2.1.5.1 EROSIÓN DE LADERAS**

Asociada a algunas formaciones geológicas consolidadas, como también poco consolidadas, meteorizadas, suelos superficiales (residuales) susceptibles a la erosión hídrica, estas unidades litológicas son:

- Rocas sedimentarias antiguas; conglomerados, areniscas y capas rojas, formaciones equivalentes del Cretáceo, Paleógeno – Neógeno.
- Unidades intrusivas meteorizadas y alteradas.
- Depósitos inconsolidados de edad reciente.

Intervienen en su ocurrencia, otros factores como fuertes lluvias, topografía (pendiente de ladera), manifestándose estos procesos como erosión laminar en surcos y cárcavas y áreas con formación de “band lands”. Los problemas o daños principales que originan tienen que ver principalmente con pérdida de suelos para la agricultura, erosión de laderas cultivadas y andenes, erosión de terraplenes en trochas, así mismo en su evolución aceleran y se asocian a otros procesos de remoción como caídas, deslizamientos y flujos.

Ejemplo:

- C° Mojontuyoc (Cachimayo), C° Huachaymojo (Quehuar): erosión de laderas (cárcavas) en laderas de limoarcillitas y areniscas caóticas, y afloramiento de algunos niveles de calizas de 3 a 7 m., afecta a cultivos y pérdida de suelos para la agricultura. (Figura. 19).

#### **6.2.1.5.2 EROSIÓN FLUVIAL**

La erosión de riberas a lo largo de las márgenes de valles principales o tributarios, se considera un peligro geohidrológico para su ocurrencia intervienen:

##### **6.2.1.5.2.1 FACTORES GEOLÓGICOS**

- Morfología del cauce y dinámica del río, pendiente y ancho del cauce fluvial, así como del tipo de drenaje que presenta (formando canales anastomosados, trenzados o meandriformes).
- Naturaleza de los suelos o rocas que conforman las márgenes o laderas de los valles.

Ejemplo:

- Cachimayo y Pucyura, drenaje del río Cachimayo en meandros, ocasionando desborde y erosión de laderas. Afecta a cultivos.

##### **6.2.1.5.2.2 FACTORES HIDROGEOLÓGICOS**

- Descargas o avenidas máximas en un corto periodo, estacionales o excepcionales de los principales ríos o tributarios de las cuencas hidrográficas.

- Pluviosidad de la región o de su cuenca húmeda.

Los daños ocasionados por la erosión de laderas son:

- Estructuras hidráulicas: puentes de diferente tipo, puentes menores y alcantarillas.
- Plataformas de carreteras y trochas, vía férrea en sus márgenes.
- Terrenos de cultivo, pastos naturales y áreas pobladas ubicadas en los márgenes de los ríos.

Ejemplo:

- Huarcocondo: hacia la margen derecha del río Huarcocondo, erosión de la plataforma de la vía afirmada Huarcocondo – Pachar.
- Pucyura: hacia la margen derecha del río Cachimayo, erosión de la plataforma de la vía férrea Cusco – Ollantaytambo (km 24). (Figura. 20).

#### 6.2.1.5.3 HUNDIMIENTOS

Descenso o movimiento vertical de una porción de suelo o roca originado por:

- Proceso kárstico
- Depresión de napa freática
- Deficiente compactación diferencial de suelo.

Los hundimientos que se encuentran en el área ocurre por procesos de disolución de rocas o terrenos calcáreos debido a la circulación de

aguas subterráneas (cavernas naturales) y se encuentran afectando áreas de cultivo y carreteras.

Ejemplo:

- Ocasionalmente se presenta hundimientos de la Pampa de Piuray – Maras, por el proceso de disolución de caliza (Grupo Yuncaypata) por la circulación de aguas subterráneas.

## **6.2.2 PELIGROS HIDROLÓGICOS Y ATMOSFÉRICOS**

### **6.2.2.1 INUNDACIONES**

Son eventos naturales recurrentes en la historia dinámica de un río asociado con:

- Precipitación pluvial continua y abundante en las cuencas húmedas de los valles principales en la mayoría de los casos.
- Volúmenes de descarga que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga o conducción de los ríos y riachuelos.
- Se asocian a súbitos aumentos de nivel de agua en áreas adyacentes a lagos, lagunas y mares.

Son frecuentes las ocurrencias de inundaciones en sectores de valles interandinos, valles agrícolas, vías de comunicación y poblados.

Ejemplo:

- Cachimayo, Pucyura, Izcuchaca, Huarcondo, Ancahuasi y Zurite, inundaciones y desbordes del río Cachimayo y diferentes

afluentes, por efecto de las intensas precipitaciones pluviales. Afecta a población, vías de comunicación y cultivos. (Figura. 21).

### 6.2.3 FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES EN LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS (NATURALEZA Y ANTROPICOS)

Características		Peligros Geológicos Inducidos
Factores Geológicos – Geotectónicos Inherentes (factores de sitio)		
<b>Litología del Substrato</b>	Rocas o formaciones geológicas susceptibles a erosión hídrica; rocas meteorizadas y/o fuertemente fracturadas de mala calidad; substrato rocoso con perfiles altos de meteorización (suelos residuales); rocas muy permeables.	Erosión de laderas, deslizamientos, caídas, reptación de suelos, hundimientos (karst).
<b>Tipo de Suelo</b>	Suelos superficiales de pocos grosores cohesivos y no cohesivos, sujetos a cambio de volumen por saturación de agua, cambios de temperatura.	Erosión de laderas; reptación de suelos; deslizamientos y caídas. Flujos de detritos.
<b>Pendiente del terreno</b>	Grado de pendiente favorable al movimiento de masas (laderas, acantilado, terrazas); pendiente del cauce o valles fluviales	Deslizamientos, caídas de rocas, en valles de moderada a fuerte pendiente. Aludes o avalanchas.
<b>Discontinuidades Favorables en las Rocas</b>	Estratificación y buzamiento de las rocas con orientación favorable o desfavorable al corte de talud; tipos de fracturamientos principales en el substrato (roturas: planares, en cuña, por vuelco y globales en macizos rocosos muy diaclasados). Pizarrosidad, esquistosidad en rocas metamórficas, fracturamiento y diaclasamientos columnares en rocas volcánicas.	Caída de rocas, vuelcos y deslizamientos planares (de bloques o estratos); deslizamientos en cuñas y movimientos complejos.
<b>Geomorfología</b>	Formas de relieve en general: valles encañonados, valles estrechos inundables, laderas y frentes escarpados, frentes glaciares abruptos, acantilados, plano-depresiones, cuevas, laderas	Deslizamientos y caídas (aludes y avalanchas); inundaciones y erosiones fluviales por efectos pluviales y características geológicas de los cauces fluviales.

	estructurales, etc.	
<b>Factores Naturales del entorno Geográfico</b>		
<b>Climáticos e Hidrológicos</b>		
<b>Precipitaciones Pluviales</b>	Índices altos de pluviosidad (estacional) o regímenes excepcionales (El Niño). Saturan suelos y/o rocas, aumentan las presiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos en suelos cohesivos, produciendo hinchamiento de los mismos.	Flujos a lo largo de cauces definidos violentos o extremadamente rápidos (flujos de lodo y detritos; avalanchas), deslizamientos y movimientos complejos, caídas; erosión de laderas. Inundaciones lagunares e inundaciones pluviales.
<b>Dinámica Fluvial</b>	Socavamiento del pie de los taludes y laderas, durante máximas avenidas.	Erosión de riberas (terrazas); inundaciones fluviales, caídas en las márgenes fluviales.
<b>Aguas Subterráneas</b>	Producen disolución y cambios fisicoquímicos en las rocas, afectando su composición. En regiones kársticas producen hundimiento de cavernas. El agua de infiltración produce expansión y contracción de suelos, en periodos alternantes de lluvia (lluvias estacionales a excepcionales) y periodos largos de sequia. Aumento de presión intersticial o de poros de suelos por cambios bruscos en el nivel freático (saturación).	Deslizamientos y/o movimientos complejos, caídas, hundimientos de tierras (formación de dolinas), en las laderas de valles.
<b>Sismicidad y Fallas Activas</b>		
<b>Sismos</b>	Deformaciones, agrietamientos y movimientos de tierra asociados a lo largo de fallas (fallas activas y neotectónicas), durante la ocurrencia de grandes sismos.	Factores desencadenantes de grandes deslizamientos, caídas, desprendimientos, flujos y movimientos complejos y/o avalancha de escombros.
<b>Actividad biológica y presencia de vegetación</b>		
No constituye factor determinante, pero si condicionan de forma notable la acción de otros factores. Presencia o ausencia de vegetación o cubierta vegetal, para mantener la estabilidad de taludes y laderas; contribuyen al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el suelo, evitan la erosión pluvial. Bosques de reforestación con uso adecuado sostenible.		Erosión de laderas; deslizamientos, caídas.

<b>Subsidencia Regional</b>		
Asociada a fenómenos sismotectónicos, que producen cambios en los niveles de tierra, en grandes sectores de la corteza terrestre. Reajustes locales asociados a grandes accidentes tectónicos		Procesos lentos de reptación o deslizamiento de tierras.
<b>Factores Humanos (Antropicos)</b>		
<b>Excavaciones</b>	Modificación de laderas naturales que influyen en su estabilidad y variación de su estado de equilibrio, creados por la construcción de cortes artificiales carreteras, canales, etc.	Caídas (caída de rocas y caídas); deslizamientos en taludes de redes viales (carreteras, vías férreas), canales. Vuelcos.
<b>Voladuras</b>	Vibraciones producidas, actúan como pequeños sismos; ampliación del fracturamiento preexistente de material rocoso, generando nuevas áreas potenciales de deslizamientos (obras civiles en general, actividad minera).	
<b>Sobrecargas</b>	Incremento del peso debido a diferentes tipos de construcciones sobre terrenos naturales (rellenos y terraplenes) inestables.	Hundimiento de tierras; deslizamientos.
<b>Actividad Minera</b>	Explotación de canteras no metálicas.	Caídas (caída de rocas) en labores mineras activas o abandonadas.
<b>Aprovechamiento de Recursos Hídricos</b>	Irrigación de grandes áreas de cultivo en terrenos sumamente permeables.	Deslizamientos, caídas, hundimientos y movimientos complejos, en laderas de valles.
	Explotación de aguas subterráneas	
<b>Colapso de alguna Infraestructura Existente</b>	Ruptura de una presa o embalse artificial, presas de relaves, por inducción sísmica.	Flujos y/o avalanchas; inundaciones; contaminación ambiental.

Cuadro 6.3: Características de los peligros geológicos inducidos. Fuente INGEMMET (2003).

## **CAPITULO VII**

### **ANALISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS**

#### **7.2 EVALUACIÓN DE RIESGOS**

La Evaluación del Riesgo en la microcuenca Cachimayo, es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad (Medidas Prevención y/o correctivas), para determinar o calcular el riesgo esperado (probabilidades de daños: pérdidas de vida e infraestructura).

Complementariamente, como producto de dicho proceso, recomendar las medidas de prevención (de carácter estructural y no estructural) adecuadas, con la finalidad de mitigar o reducir los efectos de los desastres, ante la ocurrencia de un peligro o peligros previamente identificados

Se estima el riesgo antes de que ocurra el desastre. En este caso se plantea un peligro hipotético basado principalmente, en su periodo de recurrencia. En tal sentido, sólo se puede hablar de riesgo (R) cuando el correspondiente escenario se ha evaluado en función del peligro (P) y la vulnerabilidad (V), que puede expresarse en forma probabilística, a través de la siguiente fórmula:

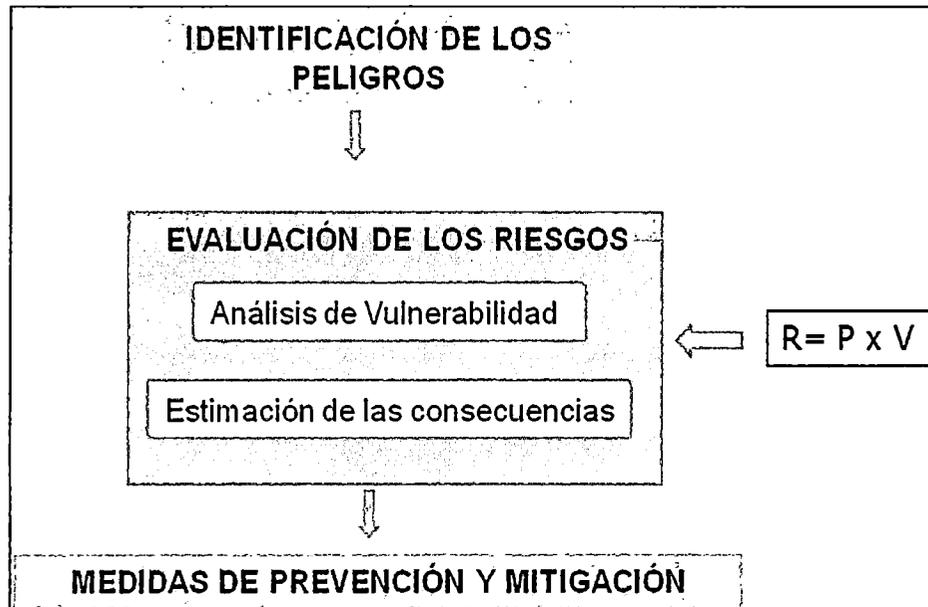


Grafico 7.1: Formula de estimación de riesgos

Se considera la estimación del riesgo en aquellos casos relacionados con la elaboración de un proyecto de desarrollo y de esa manera se proporciona un factor de seguridad a la inversión de un proyecto.

También se evalúa el riesgo, después de ocurrido un desastre. La evaluación de daños, pérdidas y víctimas, se realiza en forma directa sin emplear la ecuación indicada.

### 7.1.1 IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

La ejecución de la Evaluación del Riesgo, adquiere especial importancia en nuestro país por las siguientes razones:

- Permite adoptar medidas preventivas y de mitigación/reducción de desastres, parámetros fundamentales en la Gestión de los Desastres, a partir de la identificación de peligros de origen natural o inducidos por las actividades del hombre y del análisis de la vulnerabilidad.

- Proporciona una base para la planificación de las medidas de prevención específica, reduciendo la vulnerabilidad.
- Constituye un elemento de juicio fundamental para el diseño y adopción de medidas de prevención específica, como la preparación/educación de la población para una respuesta adecuada durante una emergencia y crear una cultura de prevención.
- Permite racionalizar los potenciales humanos y los recursos financieros, en la prevención y atención de los desastre.
- Constituye una garantía para la inversión en los casos de proyectos específicos de desarrollo.
- Después de ocurrido un desastre, toma en cuenta las lecciones que siempre dejan éstos en un asentamiento humano o centro poblado, permitiendo observar y analizar los tipos de vulnerabilidad y su estrecha relación con el riesgo.

## **7.2 ASPECTOS TEÓRICOS - CONCEPTUALES**

### **7.2.1 PELIGRO**

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente

#### **7.2.1.1 CLASIFICACIÓN DEL PELIGRO**

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y, por otro de carácter tecnológico o generado por la actividad del hombre. El Gráfico 7.2, que a continuación se presenta, los principales peligros que ocurren en nuestro país.

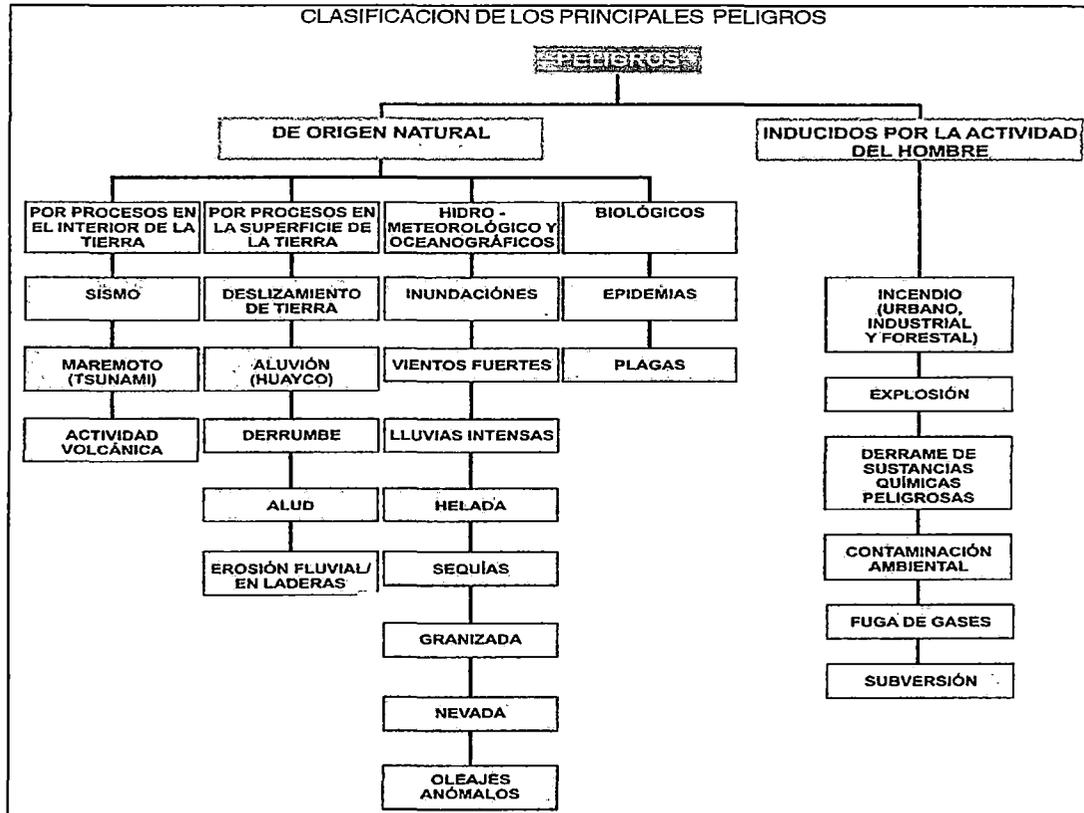


Grafico 7.2: Clasificación de los principales peligros a nivel de la nación. Fuente COEN-INDECI (2005)

Se detalla la clasificación de los peligros que interactúan entre sí que ponen en riesgo a la microcuenca de Cachimayo.

Clasificación de Peligros en la Microcuenca de Cachimayo				
PELIGROS NATURALES				PELIGROS ANTROPICOS
Procesos geodinámicos internos	Procesos geodinámicos externos	Procesos meteorológicos	Procesos biológicos	Procesos humanos
Sismos	Deslizamientos, Caída de rocas, Flujos, Hundimientos, Erosión.	Lluvias torrenciales, Precipitaciones intensas, Inundaciones y avenidas, Arroyadas, Heladas, Granizadas, Sequias.	Plagas, Crecimiento desordenado de especies arbustivas	Incendios forestales, Deforestación, Uso irracional de recursos naturales, Alteración del Medio Ambiente, Contaminación ambiental, Uso inadecuado del suelo.

Cuadro 7.1: Clasificación de peligros en la microcuenca Cachimayo. Elaboración Propia

### **7.2.1.2 CAUSAS DE LOS PELIGROS**

Los elementos, circunstancias e influencias que contribuyen a producir o desencadenar los procesos progresivos de los fenómenos de geodinámica externa en la microcuenca Cachimayo son:

#### **7.2.1.2.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA DEL TALUD**

Presencia de capas relativamente impermeables de rocas y/o suelos con resistencia al corte débil (afloramiento de lutitas, de la formación Maras), el buzamiento que presenta en contra o a favor de la pendiente.

#### **7.2.1.2.2 LITOLOGÍA DE LAS ROCAS Y TIPO DE SUELO**

Los suelos pueden estar condicionados por la calidad de sus propiedades mecánicas y físicas (afloramiento caótico de lutitas, calizas y yesos de la formación Maras). Los fenómenos de geodinámica externa en rocas están condicionados por la intensidad de fisuras o grietas o por las superficies de discontinuidad de manera desfavorable.

#### **7.2.1.2.3 GRUPO DEL DESARROLLO MORFOLÓGICO DEL TALUD**

Está relacionado por:

- Cambios de la pendiente del talud como resultado de procesos naturales (erosión, caídas, etc.) o Antropicos (excavaciones). El aumento de las pendientes modifican los cambios en las tensiones internas de la masa del talud, ejemplo: explotación no controlada de las canteras de yesos, rocas volcánicas e intrusivas.

- Cambios de la altura del talud, como consecuencia de la profundización por erosión profunda o excavaciones se liberan las tensiones laterales que llevan a la fisuración de la roca o suelo.

#### **7.2.1.2.4 CAMBIOS DE GRADO Y FORMA DE SATURACIÓN**

Son por saturación pluvial o aguas subterráneas.

- El agua de lluvia por las fisuras, poros y produce presiones hidrostáticas en las rocas en los suelos el aumento de la presión de poros disminuye la resistencia al corte efectivo.
- El flujo de aguas subterráneas produce empujes a las partículas del suelo y aumenta las fuerzas tangenciales en el talud.
- En arcillas y suelos arenosos arcillosos durante las heladas se forman las láminas de hielo y en el periodo de descongelación aumenta el grado de saturación, en casos extremos a la licuefacción local.

#### **7.2.1.2.5 GRADO DE TECTONISMO, VIBRACIONES**

En el sistema de fallas, existen fallas reactivadas (cambio de movimientos), producidos por dominios tectónicos regionales, originando zonas de debilidad al piso y techo de las fallas.

Los temblores producidos por sismos, terremotos, vibraciones por maquinas y de los vehículos, son los acelerantes de los fenómenos de deslizamientos y desprendimiento de rocas.

### 7.2.1.2.6 METEORIZACIÓN O INTEMPERISMO

Sea este mecánico o químico disminuye gradualmente la cohesión del suelo o roca.

- *Meteorización Física:* son todos los agentes que contribuyen a fragmentar, disgregar e inestabilizar los materiales de la corteza terrestre: agua, viento, sol, hombre, animales y plantas.
- *Meteorización Química:* son los diversos agentes que contribuyen a alterar los minerales de las rocas, transformándolos en nuevos minerales y modificando las condiciones mecánicas y físicas del material pueden ser: oxidación, corrosión, hidratación, carbonización. El efecto de las heladas, el agua congelada en las fisuras aumenta la apertura de las grietas y permite la penetración profunda del agua.
- *Meteorización Biológica:* como son los microorganismos, efecto de la vegetación, las raíces de los árboles y arbustos mantienen la estabilidad del talud por efectos mecánicos y la disminución del agua. Se sabe que un eucalipto diariamente succiona un volumen de agua igual a su propio peso y que sus raíces penetran hasta profundidades de decenas de metros. La deforestación en la mayoría de los casos ha disminuido por lo tanto el grado de estabilidad de los taludes naturales.

### 7.2.1.2.7 FACTORES ANTROPICOS

Excavaciones al pie de una pendiente, deforestación por el hombre, mal uso del suelo, construcción y apertura de vías de comunicación mal ubicadas, inapropiada explotación de canteras de minerales no metálicos.

## 7.2.2 DIAGNOSTICO DE LOS PELIGROS

El cartografiado o zonificación de los peligros de geodinámica externa tiene las características descriptivas o interpretativas; las cuales nos servirán de prevención, planificación (monitoreo) para una mejor Gestión del Riesgo Geológico en la microcuenca de Cachimayo.

Este cartografiado como inventario de indicador de frecuencia y delimita áreas afectadas, como identificación de peligros o amenazas.

Se asigna un color para cada actividad como se puede apreciar en el cuadro: así tenemos.

ACTIVIDAD	COLOR
Zona de Actividad Muy Alta	Rojo
Zona de Actividad Alta	Naranja
Zona de Actividad Moderada	Verde
Zona de Actividad Baja	Amarillo

Cuadro 7.2: Clasificación de colores para la zonificación de peligros

Los criterios para determinar el grado de actividad (muy alta, alta, moderada y baja); se han realizado para observaciones in situ, las características que presentan cada fenómeno de geodinámica externa (deslizamientos y caída de rocas son las más comunes en la zona de estudio); los cuales se intensifican en temporada de precipitación pluviales.

Los criterios generales considerados en la actividad son:

- **Muy Alta:** En las escarpas y el nicho de arranque no existe vegetación. El desplazamiento de masa en movimiento con la estable es muy evidente. La humedad del suelo es fuerte como no también, el suelo está muy mullido y suelto.
- **Alta:** En las escarpas de nicho de arranque existe pequeños vegetales y su densidad es muy poca.

- **Moderada:** En las escarpas existe vegetación media y su población es poca en todo el nicho de arranque. El desplazamiento es evidente.
- **Baja:** El área de las escarpas y nicho de arranque está cubierta de vegetación muy abundante, pero los indicios de flujo de agua en su superficie da un inicio de posible inestabilidad alta.

### 7.2.3 IDENTIFICACIÓN Y GRADOS DE LOS PELIGROS

De acuerdo con los estudios básicos efectuados, los peligros potenciales para la seguridad física de la microcuenca de Cachimayo son:

- Deslizamiento-Hundimientos
- Desprendimiento de Rocas
- Flujo de Lodos y detritos
- Erosión de Laderas
- Erosión Fluvial e Inundaciones

Se tiene por finalidad identificar, conocer y clasificar los peligros naturales que podrían tener impacto sobre cada una de las infraestructuras de la microcuenca y sus áreas libres del entorno, entendiendo dentro de este concepto a todos aquellos elementos del medio ambiente físico, o del entorno físico.

En forma grafica se identifico y mapeo todo el entorno de la microcuenca que podrían ser afectados por cada uno de los peligros naturales identificados. De lo cual se obtiene finalmente el Mapeo de Peligros. En la cual se delimita los sectores vulnerables de ser impactados por los peligros naturales identificados, distinguiéndose el grado de amenazas en cada caso. En función al número de eventos que pueden tener incidencia en cada uno de estos sectores.

Para fines de evaluación del riesgo, las zonas de peligro pueden clasificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en el siguiente:

GRADOS DE PELIGRO				
GRADO DE PELIGRO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS	RESTRICCIONES Y RECOMENDACIONES	VALOR %
<b>PELIGRO MUY ALTO (PMA)</b>	<p>a) las Fuerzas naturales o sus efectos son tan grandes que las construcciones existentes no las pueden resistir.</p> <p>b) si ocurre el fenómeno las pérdidas llegan al 100%</p> <p>c) el costo de reducir los daños es tan alto que la relación costo-beneficiario no es práctico para uso con fines urbanos.</p>	<p>a) sectores amenazados por avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo</p> <p>b) áreas amenazadas por flujos piroclástico o lavas</p> <p>c) fondos de quebradas que nace de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo</p> <p>d) sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo</p> <p>e) sectores amenazados por otros peligros: heladas y vientos</p> <p>f) suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones</p> <p>g) menor de 150 m desde el lugar del peligro tecnológico</p>	<p>a) se prohíbe el uso con fines urbanos.</p> <p>b) se recomienda utilizarlos como áreas intangibles reservas ecológicas cultivos de plantas que favorezcan la protección.</p>	<p>4</p> <p>76% a 100%</p>
<b>PELIGRO ALTO (PA)</b>	<p>a) la amenaza natural es alta pero se puede tomar medida efectiva de reducción de daños a costos aceptables utilizando técnicas y materiales adecuados.</p>	<p>a) sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas.</p> <p>b) sectores que son inundados a baja velocidad y permanece bajo agua por varios días.</p> <p>c) ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos.</p> <p>d) de 150 a 300m. Desde el lugar del peligro tecnológico</p>	<p>a) se permite uso urbano después de estudios detallados por especialistas con experiencia para calificar el grado de peligro y fijar los límites con el sector altamente peligroso</p> <p>b) recomendable para usos urbanos de baja densidad.</p>	<p>3</p> <p>51% a 75%</p>
<b>PELIGRO MEDIO (PM)</b>	<p>a) amenaza natural moderada</p>	<p>a) suelo de calidad intermedia con aceleraciones sísmicas moderadas</p> <p>b) inundaciones muy esporádicas con bajo peligro y riesgo</p> <p>c) de 300 a 500m. Desde el lugar del peligro tecnológico</p>	<p>a) adecuado para usos urbanos, ratificado mediante investigaciones geotécnicas normales</p>	<p>2</p> <p>26% a 50%</p>
<b>PELIGRO BAJO (PB)</b>	<p>a) donde la probabilidad que fenómenos naturales intensos o falla gradual del suelo es muy remota</p>	<p>a) terrenos planos o con poca pendiente roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.</p> <p>b) terrenos altos no inundables alejados de barrancos o cerros deleznales no amenazados por peligros.</p> <p>c) distancia mayor a 500m. desde el lugar del peligro tecnológico</p>	<p>a) ideal para uso urbano de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, cuarteles de policía, bomberos, centros educativos y instituciones tec.</p>	<p>1</p> <p>&lt; 25%</p>

Cuadro 7.3: Clasificación de los grados de peligro.

Para la microcuenca de Cachimayo, se realizó la identificación de los peligros, a través de la observación directa en campo y de los antecedentes registrados, obteniéndose un cuadro de clasificación de grado de actividad de peligros:

Grado de Actividad	Símbolo
Zona de Muy Alta Actividad	ZMAA
Zona de Alta Actividad	ZAA
Zona de Moderada Actividad	ZMA
Zona de Baja Actividad	ZBA

Cuadro 7.4: Clasificación de grado de actividad de peligros en la zona de estudio.

### 7.2.3 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100.

La vulnerabilidad, es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido lo suficiente en obras o acciones de prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado alto.

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso.

La vulnerabilidad de un centro poblado, es el reflejo del estado individual y colectivo de sus elementos o tipos de orden ambiental y ecológico, físico, económico, social, y científico y tecnológico, entre otros; los mismos que son dinámicos, es decir cambian continuamente con el tiempo, según su nivel de preparación, actitud, comportamiento, normas, condiciones socio-económicas y políticas en los individuos, familias, comunidades, instituciones y países.

### 7.2.3.1 GRADOS DE VULNERABILIDAD

Para fines de Evaluación del Riesgo, la vulnerabilidad puede clasificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en el siguiente cuadro:

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION /CARACTERISTICAS	VALOR
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	< de 25%
VM (Vulnerabilidad Media)	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 26% a 50%
VA (Vulnerabilidad Alta)	Viviendas asentadas en zonas donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 51% a 75%
VMA (Vulnera Muy Alta)	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	De 76% a 100%

Cuadro 7.4: Clasificación y descripción y valor de vulnerabilidad.

### 7.3 ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y RIESGOS EN LA MICROCUENCA

Al encarar programas de desarrollo en los cuales los peligros geológicos son determinantes, los planificadores antes del desarrollo, gobiernos locales, gobiernos regionales, etc. Se preguntan ¿Qué zonas dentro del área ser afectados por los peligros geológicos? Y ¿Cuáles son las principales zonas dentro del área que priorizan programas para reducir pérdidas en determinados tipos de construcciones? La respuesta a estas interrogantes se determina resolviendo lo siguiente ¿Dónde han ocurrido los peligros en el pasado? ¿Dónde están ocurriendo ahora? ¿Dónde se prevé que ocurrirá en el futuro? ¿Cuál es la frecuencia de ocurrencia? ¿Cuáles son las causas básicas? ¿Cuáles son los efectos físicos? Resolver en parte estas interrogantes es el objetivo de este estudio.

#### 7.3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN

Las interrogantes a resolver respecto a la vulnerabilidad de un área frente a los peligros geológicos y/o hidrológicos son: ¿Dónde podrían ocurrir los daños? ¿Dónde se encuentran los puntos débiles? ¿Cuál es el impacto cuando se pierde los servicios en un determinado lapso de tiempo? ¿Qué inversión en mitigación resolvería este problema? ¿Cuál es el costo – beneficio de esta inversión? Tener que proporcionar respuestas relacionadas con la ubicación de los peligros geológicos e hidrológicos (donde pueden ocurrir los daños), así como las localización de las principales obras de infraestructura y su grado de vulnerabilidad frente a fenómenos geológicos y las poblaciones que posiblemente son afectados (puntos débiles).

La clasificación más usada divide a los Peligros Geológicos de Remoción de Masa (PGRM), de acuerdo al tipo de movimiento y el material que es trasladado (VARNED, 1978). La velocidad del movimiento y la cantidad de agua son parámetros secundarios que definen algunos tipos de PGRM.

Reconocer el tipo de PGRM presente en una determinada área ayuda a explicar cómo y dónde.

Los factores que influyen en la localización del lugar de ocurrencia de los PGRM se dividen en dos tipos: permanentes y variables (SHARPE, 1938).

#### **7.3.1.1 FACTORES PERMANENTES**

Son las características de un terreno que permanecen sin cambio o que varían muy poco según la perspectiva humana. La pendiente o el tipo de roca por ejemplo. Presentan cambios después de periodos muy largos y se pueden identificar y reconocer mucho después de la ocurrencia. La identificación de las condiciones y procesos que proporcionan la inestabilidad, hacen posible considerar estos mismos factores para estimar peligros futuros.

#### **7.3.1.2 FACTORES VARIABLES**

Son las características del terreno que cambian rápidamente como resultado de un “evento gatillo” ejemplo: vibración del suelo producto de los terremotos, la rápida elevación de las aguas subterráneas y la mayor cantidad de humedad en el suelo debido a intensas precipitaciones pluviales.

Los factores permanentes son los que permiten estimar los PGRM si faltan datos históricos suficientes sobre la relación de estos con los sismos, lluvias o demás factores que los inician. En consecuencia la identificación de los PGRM no es una ciencia exacta y conduce en general a descubrir las áreas propensas al peligro en base a estimaciones. En el mejor de los casos, las áreas susceptibles a los PGRM, se pueden identificar junto con los eventos desencadenantes esperados y con el registro histórico realizado.

El riesgo existe cuando una población y/o obra de infraestructura está expuesta a un peligro geológico y/o hidrológico. Se considera el riesgo como algo que puede ser evaluado directamente en función de una serie de conocimientos sobre el peligro sus consecuencias potenciales así como el grado de vulnerabilidad del área donde se localiza.

La zonificación geotécnica y de peligros geológicos/hidrológicos constituye herramientas valiosas y necesarias para fines de planificación territorial y mitigación de desastres naturales.

El objetivo principal de una zonificación de peligros geológicos/hidrológicos es indicar las zonas de ocurrencia de fenómenos con efectos desastrosos.

El uso de mapas para sintetizar los datos de peligros (amenazas), facilita el análisis y mejora la comunicación entre los participantes en el proceso de manejo de peligros.

#### **7.4 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES**

En este mapa se presenta todos los peligros geológicos de remoción de masas en un solo mapa; ofreciendo información espacial de los peligros geológicos/hidrológicos de diferente tipo de riesgo y ocurrencia y su área de impacto, actual y potencial.

En base a la información proporcionada por los mapas de peligros geológicos de remoción de masas e hidrológicos, el cartografiado de campo, la geomorfología, unidades litológicas, clima (precipitación) y pendientes, se preparo el Mapa de Peligros Geológicos Múltiples (MPGM) o de susceptibilidad a los peligros geológicos/hidrológicos. Se le conoce como mapa compuesto, de síntesis o superposición de peligros. De este mapa se obtiene una idea más precisa sobre los peligros en un área determinada. También servirá para recomendar técnicas

de prevención y mitigación para porciones comunes del área de estudios, (Mapa: 12).

El MPGM se ha zonificado en cuatro niveles de acuerdo al grado de peligro, según los criterios que se mencionan a continuación:

Grado de Peligro	Factores Críticos
<b>ZMAA</b>	Áreas de ocurrencia de numerosos peligros geológicos: principalmente flujos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial. Terrenos con fuerte a muy fuerte pendiente. Zonas de intensas precipitaciones.
<b>ZAA</b>	Áreas donde ocurren principalmente: deslizamientos, movimientos complejos, flujos, inundaciones, hundimientos y erosión fluvial. Terrenos de fuerte pendiente. Intensas precipitaciones.
<b>ZMA</b>	Presencia generalmente de flujos, caídas de rocas, reptación de suelos, erosión de laderas. Terrenos de pendiente media a baja.
<b>ZBA</b>	Problemas con el drenaje (bofedales), inundaciones, erosión de laderas, reptación de suelos. Terrenos de pendiente media a baja.

Cuadro 7.5: Grado de actividad de peligros geológicos múltiples

#### 7.4.1 ÁREAS VULNERABLES A CAÍDAS DE ROCAS

En las caídas, se incluyen las caídas de rocas, (Mapa: 13). Este tipo de amenazas o peligros geológicos se localizan principalmente, en los flancos (generalmente laderas de fuerte pendiente) de los valles interandinos y en los cortes de carretera. Donde las condiciones litológicas, fracturamiento, presencia de agua y pendientes son favorables son favorables; teniendo como “efecto gatillo” los sismos, las intensas precipitaciones pluviales y las actividades antrópicas.

Las áreas vulnerables a caídas de rocas se han zonificado en áreas de alto, moderado y bajo, según los criterios siguientes:

Grado de Peligro	Factores Críticos
ZAA	Laderas de fuerte pendiente, rocas muy fracturadas y alteradas, donde han ocurrido o existe una alta posibilidad de que ocurran estos fenómenos.
ZMA	Laderas de pendientes medias a fuertes, zonas con rocas fracturadas y depósitos medianamente consolidados, donde no han ocurrido estos fenómenos, pero existen indicios de que pueden ocurrir.
ZBA	Laderas de pendientes medias, rocas fracturadas que no presentan indicios que permitan predecir estos fenómenos.

Cuadro 7.6: Grado de actividad de desprendimiento de rocas y caídas.

#### 7.4.2 ÁREAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS, MOVIMIENTOS COMPLEJOS Y HUNDIMIENTOS

Las áreas vulnerables a deslizamientos y movimientos complejos (Mapa: 14) se localizan principalmente en los flancos de los valles interandinos; generalmente en laderas de fuerte a muy fuerte pendiente, en los cortes de carretera, donde son favorecidos por las condiciones litoestructurales, presencia de agua, vegetación entre otros factores. Los factores de “efecto gatillo” pueden ser las fuertes precipitaciones pluviales, sismos y la acción antrópica.

Los criterios para zonificarlos en zonas de muy alto y alto peligro son los siguientes:

Grado de Peligro	Factores Críticos
ZMAA	Laderas con zonas de falla, pendientes fuertes a muy fuertes, rocas con discontinuidades favorables, muy fracturadas, formaciones superficiales inconsolidadas a medianamente consolidados, medianamente saturadas a saturadas, donde han ocurrido estos fenómenos o existe alta posibilidad de que ocurra.
ZAA	Laderas con zonas de falla, de fuerte pendiente, rocas muy fracturadas y alteradas, materiales parcialmente saturados donde han ocurrido o existe una alta posibilidad de que ocurran estos fenómenos.

Cuadro 7.7: Grado de actividad de deslizamientos y movimientos complejos

Se han localizado zonas con hundimientos (karts) relacionadas principalmente a rocas calcáreas, se localizan en zonas de alto peligro.

### 7.4.3 ÁREAS VULNERABLES A FLUJOS

Los flujos detríticos (Mapa: 15), por lo general, están circunscritos a la reactivación periódica, ocasional de ríos y quebradas, debido a la presencia de fuertes precipitaciones periódicas, ocasionales o excepcionales (Fenómeno El Niño). Se inician frecuentemente en los flancos de las cuencas medias de los ríos, afectando áreas comprendidas en su recorrido, aguas abajo, hasta su desembocadura. Los criterios para zonificarlos en zonas de alto y moderado peligro son los siguientes:

Grado de Peligro	Factores Críticos
<b>ZAA</b>	Ríos y quebradas con laderas de fuerte a muy fuerte pendiente, rocas muy fracturadas y alteradas, formaciones superficiales inconsolidadas a medianamente consolidadas, abundante material suelto en las laderas, zonas propensas a intensas precipitaciones (periódicas, ocasionales y/o excepcionales), escasa o nula cobertura vegetal, zonas muy deforestadas, donde han ocurrido estos fenómenos o existe una alta posibilidad de que ocurra.
<b>ZMA</b>	Ríos quebradas con laderas de media a fuerte pendiente, presencia de rocas fracturadas y alteradas, formaciones superficiales inconsolidadas medianamente consolidadas, presencia de material suelto en sus laderas, zonas propensas a intensas precipitaciones (ocasionales y/o excepcionales), escasa o nula cobertura vegetal, donde han ocurrido estos fenómenos (con lluvias excepcionales) o existe una alta posibilidad de que ocurra.

Cuadro 7.8: Grado de actividad de flujos.

### 7.4.4 ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN DE LADERAS

La erosión de laderas (Mapa: 16), está ligada principalmente a rocas sedimentarias y rocas intrusivas. Para la zonificación se han empleado criterios de acuerdo a la litología, topografía, clima y el trabajo de campo (ubicando zonas con presencia de laderas). De esta manera se ha zonificado, de acuerdo a su ocurrencia, en: alta, moderada y baja.

Grado de Peligro	Factores Críticos
<b>ZAA</b>	Suelos inconsolidados, altamente meteorizados y residuales muy susceptible a la erosión hídrica.
<b>ZMA</b>	Suelos poco consolidados, moderadamente meteorizados.
<b>ZBA</b>	Suelos consolidados, resistente a la erosión hídrica.

Cuadro 7.9: Grado de actividad de erosión de laderas.

### 7.4.5 ÁREAS VULNERABLES A EROSIÓN FLUVIAL E INUNDACIONES

Las áreas vulnerables a inundaciones, están localizadas principalmente en los sectores donde los ríos discurren en terrenos de baja pendiente. Las inundaciones y la erosión de riberas (Mapa: 17) se repiten anualmente, con diferente intensidad, entre los meses de diciembre y marzo. Teniendo en cuenta que el cambio climático y el fenómeno El Niño pueden generar precipitaciones excepcionales que causen inundaciones de gran magnitud en las áreas señaladas.

En el siguiente cuadro se presentan algunos criterios empleados para la designación del grado de peligro:

Grado de Peligro	Factores Críticos
ZAA	Cauces de pendientes bajas a medias. Inundaciones periódicas y ocasionales
ZMA	Cauces de pendiente baja a media. Inundaciones ocasionales y excepcionales.

Cuadro 7.10: Grado de actividad de erosión fluvial e inundaciones.

### 7.5 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES Y DE INFRAESTRUCTURA

Combinando los MPGM y MI. (Mapa: 18), sirve para analizar la vulnerabilidad a los peligros geológicos e hidrológicos y como consecuencia el riesgo, los peligros puede afectar adversamente la vida, la propiedad a las actividades socioeconómicas, en base a la ubicación, severidad del fenómeno y su probabilidad de su ocurrencia.

Son muchos las ventajas que se obtienen al hacer un MI y combinarlo con un MPGM e integrar ambos en el proceso de planificación del desarrollo, si se incorporan las técnicas apropiadas para reducir la vulnerabilidad en cada etapa del proceso de planificación, se podrán evitar significativamente los desastres sociales y económicos.

Grado de Peligro	Factores Críticos
<b>ZMAA</b>	Áreas de ocurrencia de numerosos peligros geológicos: principalmente flujos, caídas, deslizamientos, movimientos complejos, inundaciones, erosión fluvial, con terrenos de fuerte a muy fuerte pendiente, con infraestructuras muy vulnerables a estos peligros geológicos.
<b>ZAA</b>	Áreas donde ocurren principalmente: deslizamientos, movimientos complejos, flujos, inundaciones, hundimientos y erosión fluvial, con terrenos de fuerte pendiente. Intensas precipitaciones, con infraestructura vulnerable a los estos peligros geológicos.

Cuadro 7.11: Grado de actividad de peligros múltiples e infraestructura.

Los mapas combinados de MPGM y MI pueden ser utilizados por los organismos encargados de planificación del uso de la tierra, para una preparación y respuesta a un desastre, servicios públicos incluyendo energía, transporte y comunicación. Esta combinación también es importante cuando se preparan proyectos de inversión para solicitar financiamiento bancario a nivel nacional e internacional.

### 7.5.1 INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Cuando un área está expuesta a más de un peligro un MPGM ayuda al equipo de planificación a analizar respecto a vulnerabilidad y el riesgo, “infraestructura crítica” significan que todas las estructuras o adelantos afectados por el hombre, que por su función , tamaño, área de servicio o singularidad pueden causar graves daños a la sociedad, las propiedades y actividades socioeconómicas vitales si se destruyen o sufren daños, o si sus servicios son interrumpidos en ocasiones.

### 7.6 CÁLCULO DEL RIESGO

Una vez identificado los peligros (P) a la que está expuesta la infraestructura física y/o el medio ambiente y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales,

recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico.

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y una combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a probabilidad del peligro identificado, es decir la fuerza e intensidad de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura, etc.), dentro de una determinada área geográfica.

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático; y, por otro, el descriptivo.

El criterio descriptivo, se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad” (cuadro 7.12). Para tal efecto, se requiere que previamente se ha determinado los niveles de probabilidad (porcentaje) de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

Con ambos porcentajes, se interrelaciona, por un lado (vertical), el valor y nivel estimado del peligro; y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio determinado en el respectivo Cuadro General. En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado

<b>Peligro Muy Alto</b>	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
<b>Peligro Alto</b>	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
<b>Peligro Medio</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
<b>Peligro Bajo</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	<b>Vulnerabilidad Baja</b>	<b>Vulnerabilidad Media</b>	<b>Vulnerabilidad Alta</b>	<b>Vulnerabilidad Muy Alta</b>

Cuadro 7.12: Matriz de peligro y vulnerabilidad. Fuente INDECI (2006).

Donde:

	Riesgo Muy Alto (76% al 100%)
	Riesgo Alto (51% al 75%)
	Riesgo Medio (26% al 50%)
	Riesgo Bajo (< de 25%)

## 7.8 CÁLCULO DEL RIESGO DE LOS CENTROS POBLADOS

Según el INEI, los centros poblados urbanos y rurales de nuestro país, que forman parte de un distrito, se clasifican en: ciudades, pueblos, caseríos y villas; sin embargo esta clasificación esta puramente ligado, al número de población que habitan en un sitio, sin considerar otros aspectos como actividades principales, instalación y servicios existentes, etc., parámetros importantes hoy utilizados en el ordenamiento territorial de poblaciones, espacio funcional importante para el centro de trabajo cotidiano de las poblaciones que conllevan a su crecimiento y desarrollo. También es importante conocer la seguridad física del territorio, la ocurrencia o existencia de peligros geológicos comunes que puedan comprometerlas, como flujos, caídas, deslizamientos, etc.

Los planes de ordenamiento territorial, deben contemplar la identificación de las zonas expuestas a peligros geológicos y a cualquier evento natural que potencialmente impliquen riesgo para las personas o bienes materiales. Se realizo un cálculo de riesgo de los poblados existentes en la microcuenca que están sujetos o presentan vulnerabilidad a los procesos de remoción en masas o los que de una manera u otra se encuentra ubicada dentro de áreas vulnerables a la ocurrencia de peligros geológicos.

Ubicación		Tipo de Fenómeno	Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo	Observaciones
Distrito	Poblado					
Cachimayo	Cachimayo	Deslizamientos	PM	VM	Riesgo Medio	Taludes inestables en vía asfaltada
Pucyura	Pucyura	Inundaciones	PA	VA	Riesgo Alto	Ríos de bajas pendientes y saturadas de detritos.
Anta	Kasacunca	Deslizamientos Caídas de rocas	PA	VMA	Riesgo Muy Alto	Taludes inestables en trocha carrozable por efecto de deformaciones tectónicas (falla) y saturación del suelo.
Anta	Izcuchaca	Deslizamientos e Inundaciones	PM	VA	Riesgo Medio	Taludes inestables y río saturado de detritos.
Anta	Compone	Inundaciones	PM	VM	Riesgo Medio	Ríos de bajas pendientes y saturadas de detritos.
Zurite	Zurite	Deslizamientos Flujos	PMA	VA	Riesgo Muy Alto	Taludes inestables por deformación tectónicas (pliegues y fallas) e intensas precipitaciones
Huarocondo	Huarocondo	Inundaciones	PB	VA	Riesgo Medio	Río de baja pendiente y saturada de detritos.

Cuadro 7.13: Evaluación de centros poblados vulnerables a peligros geológicos.

En conclusión, a la evaluación de riesgos realizado por el método de la matriz de peligro y vulnerabilidad se ha zonificado cuatro áreas de riesgo: *riesgo muy alto* son poblados e infraestructura vulnerables a los peligros de deslizamientos y flujos en zonas próximas a deformaciones tectónicas (fallas); *riesgo alto*, son zonas vulnerables a inundaciones a los poblados que se desbordan por su baja pendiente y saturación de detritos y *riesgo medio*, son zonas vulnerables a deslizamientos e inundaciones que están regularmente controlados por obras civiles de prevención.

## **CAPITULO VIII**

### **MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O CORRECTIVAS**

#### **8.1 INTRODUCCIÓN**

Este capítulo es a nivel de propuesta, intenta revertir la problemática de la degradación de los suelos por efecto de los procesos de geodinámica externa, debido a la pérdida de cubierta vegetal, a causa de las actividades antrópicas a las cuales ha sido sometida toda la microcuenca, esta problemática tiene como aliado las características topográficas, litológicas y estructurales de las rocas y de los suelos los cuales son susceptibles a la erosión.

Por lo cual, para mitigar este proceso de degradación de suelos, se propone un conjunto de actividades, que en su primera instancia está orientada a la prevención como *medidas no estructural*, así mismo se plantean *medidas estructural* como acciones correctivas, las que garantizan la estabilidad de laderas y cursos de agua.

#### **8.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

Se considera un conjunto de actividades, que nos van a permitir realizar acciones de prevención y mitigación en zonas vulnerables a movimientos de masas y otros peligros geológicos en la microcuenca de Cachimayo.

##### **8.2.1 ¿CÓMO PUEDEN IDENTIFICARSE ZONAS AMENAZADAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS?**

- Mediante el inventario de los peligros naturales que han afectado o vienen afectando a una determinada área, apoyándose en el estudio de sensores remotos (fotografías aéreas, imágenes satélites, imágenes de radar), cartas

topográficas, documentación técnica u oral y su posterior verificación en el campo.

- En el campo, mediante el estudio morfoestructural de la geografía del lugar, con el apoyo de profesionales de ciencias de la tierra, autoridades y pobladores se pueden delimitar las zonas afectadas por fenómenos de remoción en masas o zonas bajas inundables adyacentes a cursos de agua, quebradas secas o con bajo volumen de agua expuestos a que súbitamente puedan ocurrir avenidas o flujos.
- Mediante el estudio de la historia de la localidad o la tradición oral, se puede determinar si en el pasado han ocurrido peligros geológicos (inundaciones, fenómenos de remoción en masas, sismos, etc.) y cuáles fueron los sectores afectados, y daños ocasionados, determinándose los lugares seguros para establecer refugios o zonas de reubicación para que la población no corra peligro.

## **8.2.2 ¿CÓMO DEBE EFECTUARSE LA EVACUACIÓN?**

- Las rutas de evacuación deben seleccionarse evitando obstáculos, cruzar fajas inundables y áreas difíciles de transitar.
- Se debe enseñar a los pobladores para que identifiquen las señales de alarma indicadora de que el fenómeno está por producirse, la evacuación debe efectuarse con los pobladores líderes.
- Debe capacitarse constantemente a la población con el apoyo de personal especializado.

## **8.2.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

### **8.2.3.1 PARA ÁREAS CON DESLIZAMIENTOS**

- La medida más lógica y de menor costo para evitar daños por deslizamientos consiste en no construir viviendas u obras de

infraestructura en áreas que pueden deslizarse, en la parte susceptible de hundimiento, ni en la pendiente donde pueden deslizarse, ni debajo donde pueden ser sepultado por la masa deslizada.

- Tratar de reducir la intensidad de las fuerzas que activan los deslizamientos.
- Evitar excavar en la base del talud. No deben efectuarse obras que desestabilicen las pendientes, como cortes en el terreno para habilitaciones urbanas, construcción de carreteras y canales. Un estudio geológico-geotécnico determinaría la mejor opción.
- Los bosques favorecen la firmeza de los suelos evitan la erosión, hay preservarlos no permitiendo la destrucción o la tala indiscriminada de estos.
- Evitar el sobrepastoreo, cambiando periódicamente el ganado de un lugar a otro para evitar el desgaste de los terrenos y posible erosión que favorecen la generación de deslizamientos.
- Observar si hay evidencias de deslizamientos antiguos que puedan reactivarse en el área.
- Vigilar periódicamente si los arboles en las laderas se inclinan o se curvan.
- En las laderas utilizadas para cultivos, los surcos deben construirse contrarios a la dirección de las pendientes. La construcción de terrazas y andenes para el cultivo en terrenos empinados, es una buena medida para evitar deslizamientos.
- Estar alerta ante largos periodos de lluvias y tomar nota si son intensas, para construir buenos sistemas de drenajes para el desalojo rápido de las aguas superficiales y subterráneas, evitando así que los suelos se saturen de agua.
- Observar si hay afloramientos de agua en el área.
- En cada área afectada por deslizamientos deben efectuarse investigaciones específicas de carácter geológico, geomorfológico, geodinámico y geotécnico. Con ellos se podrá determinar el tipo de

construcción y medidas que pueden adoptarse para impedir su repetición o mitigar sus efectos.

#### **8.2.3.1.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN**

Si un deslizamiento ocurre de manera imprevista, es poco lo que se puede proteger con efectividad, pero si se observan indicios antes de que se produzca, se debe tomar las siguientes medidas:

- Evacuar de manera inmediata a una zona estable y segura, ya sea a una zona plana y/o alta donde no existan agrietamientos, o se estén produciendo otros fenómenos en masas.
- Retroceder ante lo peligroso del recorrido y buscar un sendero más seguro. De lo contrario, ubicarse en sitios donde los riesgos disminuyan.
- Evitar pasar o detenerse en lugares que podrían deslizarse.
- En caso de que el deslizamiento suceda en el momento en que la persona está cerca de la pendiente, debe entonces evitar los ruidos o vibraciones y quedarse en un lugar seguro.

#### **8.2.3.2 PARA ÁREAS CON INUNDACIONES Y FLUJOS**

Para evitarlos es necesario tenerlo en cuenta: mayor conocimiento y estudio de las condiciones meteorológicas e hidrológicas de la región y de los recursos de aguas que interesan, debiéndose fomentar:

- Control periódico de los niveles del cauce aguas arriba y abajo.
- El control meteorológico e hidrológico, incluyendo en este último, el registro de máximas avenidas, el arrastre de sedimentos y mecánica de deposición.
- Limpieza periódica de los cauces de los ríos.

- Las construcciones con adobe reforzado debe realizarse solamente en terrenos planos o con poca pendiente, y en un suelo compacto y seco, lejos de zonas deslizables o inundables.
- Manejo de reservorios adecuados, orientando a minimizar su colmatación y posibilidades de superar los caudales de descarga establecidos.
- Programas de control, vigilancia y mantenimiento periódico de los cauces de los ríos y de las estructuras hidráulicas.

#### **8.2.3.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES**

Debe consistir en:

- No construir edificios, viviendas, etc., en las riberas de los ríos.
- Efectuar el análisis periódico de las variaciones del nivel de las aguas para determinar la altura mínima sobre la que se debe ubicar cualquier edificación de la población.

En los periodos que no surjan situaciones de emergencia deberá mantenerse en buen estado la zona de evacuación de crecidas y el sistema de defensa contra las inundaciones lo que incluye:

- Las reparaciones de los terraplenes, el mantenimiento de la capacidad normal de caudal de los cursos de agua mediante el dragado y limpieza, y la conservación de las esclusas compuertas y otros equipos.
- El mantenimiento de las estaciones hidrométricas y la prestación de un servicio diario de información sobre el nivel de las aguas que afecte la situación hidrológica de la zona protegida.
- Conservar limpio el cauce de los ríos, evitando el arrojado de basura o materiales que puedan ocasionar represamientos.

- Es recomendable efectuar trabajos de forestación o reforestación en las orillas de los ríos, incluyendo especies de rápido crecimiento que se extiendan por el suelo y den solidez a las riberas.

Tener en Cuenta lo Siguiete:

- Si los canales, carreteras y vías férreas se construyen cerca y paralelos a los cauces, pueden presentarse problemas de erosión o inundación.
- Las obras de infraestructura, por las que pasan las aguas de las quebradas, pueden ser superadas por las condiciones que genera los fenómenos extraordinarios.
- Los servicios de agua, caminos, ferrocarriles y puentes son muy vulnerables frente al efecto erosivo de las aguas. Este efecto puede ser reducido si se protege de manera adecuada la cimentación de las estructuras o las tuberías enterradas, mediante la colocación de material grueso.
- Los puentes pueden ser afectados por caudales superiores a los del diseño o por los depósitos de materiales que elevan el nivel del agua hasta sumergirlos haciéndolos colapsar.
- Efectos de erosión de riberas, producidos en forma similar a los señalados para las obras de captación, pueden poner en situación crítica a las estructuras.
- El adobe o tapial sumergido en agua pierde completamente su compacidad.

### **8.2.3.3 OTROS FENÓMENOS DE MOVIMIENTO DE MASAS**

- Ubicar obras de protección en la parte cóncava de los ríos donde estos acentúan su efecto erosivo.

- Educar a la población para que informe a las autoridades sobre cualquier proceso erosivo que comience a afectar a las laderas de los cerros, ribera de los ríos, base de los taludes u obras de ingeniería.
- Evitar el sobrepastoreo y la deforestación en áreas susceptibles de desertificación, manteniendo la vegetación sobre las laderas para no agudizar los procesos de erosión.
- Propender a cambiar los hábitos de riego muy usuales en los campos agrícolas de la región (riego por inundación) mediante el riego tecnificado (aspersión, goteo, microgoteo, etc.) con la finalidad de evitar el sobreuso del agua, que causa daño a las laderas o taludes de los cerros.

#### **8.2.3.4 PARA SISMOS**

- Las edificaciones en base a adobe constituyen las edificaciones más débiles y conjuntamente con las edificaciones de piedra con mortero de barro.
- En construcciones de albañilería con techo rígido y pesado, las columnas, vigas y collar de refuerzo de concreto armado son muy efectivas para incrementar la resistencia sísmica.
- En construcciones de concreto armado toda la cortante sísmica se concentra en las columnas cortas las cuales consecuentemente fallan; es un error que debe eliminarse sobre todo en la construcción de centros educativos.
- Las poblaciones deben tratar de no ubicar sus viviendas en zonas de laderas con pendientes muy pronunciadas o propensas a ocurrencias de fenómenos de remoción de masas, que pueden ser activados y/o acelerados por sismos.
- Se debe evitar la construcción de viviendas en suelos donde predominan las arenas y un nivel freático muy superficial, que ante la

incentivación sísmica pueden dar lugar a problemas de licuación de suelos.

- Las viviendas que se cimientan directamente sobre roca deben considerar que la incentivación sísmica sobre ella eleva en primer grado la magnitud de un sismo.
- Cumplir con las normas de construcción y usos del suelo establecidos.
- Durante un sismo es recomendable alejarse de las fachadas en mal estado y de las ventanas con vidrios, ya que las esquirlas pueden causar accidentes.
- Después de un sismo no tocar ni manipular cables de energía eléctrica caídos.

#### **8.2.4 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN**

- Realizar una adecuada utilización del territorio.
- Ejecutar adecuados programas de operación de los reservorios de agua, buscando su mejor utilización.
- Diseñar adecuadas estructuras hidráulicas y procedimientos para minimizar los procesos de colmatación y erosión.
- Realizar programas para contrarrestar la menor disponibilidad de agua por sequía o por colmatación de reservorios.

#### **8.2.5 RESPONSABLES DE LA PREVENCIÓN**

El Estado, a través de sus entidades de desarrollo en los diversos campos del quehacer nacional (irrigación, electricidad, saneamiento, transporte, vivienda, etc.), entidades de Ciencia y Tecnología (SENAMHI, IGP, IMARPE, INRENA, INGEMMET, etc.), de protección (INDECI, Fuerzas Armadas, etc.):

- Las empresas públicas y privadas
- Las universidades

- Los profesionales dedicados a realizar obras de prevención, mitigación, rehabilitación y reconstrucción de desastres naturales.
- Los dirigentes políticos.
- Los pobladores.

### **8.3 MEDIDAS ESTRUCTURALES O CORRECTIVAS**

La geomorfología de nuestro territorio, el desarrollo de las obras de infraestructura y la localización de los poblados en zonas altoandinas condicionan un aumento de los accidentes relacionados con movimiento de masas, que determinan la necesidad de efectuar estudios para identificar y caracterizar estos problemas, que tiendan a disminuir los riesgos.

Estas medidas presentan a grandes rasgos lo concerniente a técnicas de control de caídas de rocas en taludes y laderas, considerando que cuando se ejecutan excavaciones de taludes en roca o suelos granulares, no siempre se toman las medidas de estabilidad superficial necesarias, lo cual repercute en el acabado de taludes. Así mismo en rocas muy alteradas y fracturadas, siempre es necesario realizar medidas de estabilización, aunque la calidad del corte del talud sea excelente.

#### **8.3.1 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA MINIMIZAR LAS CAÍDAS DE ROCAS**

Las medidas para estos fenómenos dependen entre otros factores, el tipo de roca del grado y carácter de las fracturas, de la pendiente y altura de los terrenos escarpados, la amplitud que abarcan tales fenómenos y de las condiciones en las que ocurren. En la zona de estudio se prioriza su construcción en quebradas de Suaray y Cullomayo, así también en la márgenes del río Huarcondo. Los métodos más empleados para solucionar los problemas de caídas de rocas son los siguientes:

### **8.3.1.1 PANTALLAS ESTÁTICAS**

Son sistemas de absorción de impactos modificados mediante el aumento de la robustez de su estructura y de los anclajes del terreno. La desventaja fundamental de este tipo de sistemas es su elevada rigidez. Ante el impacto de una roca sufren un desplazamiento muy limitado, que multiplica la fuerza del choque, superando rápidamente la resistencia del material de la pantalla. Esto hace que estas pantallas sean insuficientes, poco duraderas e inseguras.

### **8.3.1.2 PANTALLAS DINÁMICAS**

Estas permiten el desplazamiento de sus componentes, cables y mallas de diversos tipos y dispositivos para el frenado. Estos componentes ayudan a la disminución de la energía que alcanzan las rocas. Suelen ser sistemas costosos que requieren de un elevado costo de mantenimiento. Su empleo está justificado en aquellas zonas donde hay amenazas de desprendimiento de alta energía. (Figura 22.)

### **8.3.1.3. ANCLAJES**

Se emplean en casos donde no es posible o es muy difícil construir el contrafuerte ya sea por escasez de espacio y/o materiales; consiste en perforaciones practicadas en la masa deslizante hasta llegar a la roca estable donde se incrustan unas barras metálicas con el fin de fijar las materias rocosas inestables vulnerables a desprenderse. El área de acción de un anclaje es pequeña, su ubicación requiere de conocimiento real de las características y comportamiento de las rocas donde se fijan el anclaje. (Figura 23.)

### **8.3.2 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA DESLIZAMIENTOS**

Para tratar y controlar la dinámica de los deslizamientos y otros fenómenos de movimientos de masas, es necesario determinar los siguientes elementos

- La geometría del deslizamiento
- Su estructura geológica
- Su comportamiento hidrogeológico
- Su grado de estabilidad
- Los factores que influyen en la estabilización de la ladera.

El conocimiento de aspectos básicos nos permitirá plantear medidas correctivas técnicas y económicamente adecuadas, estas medidas deben ser orientadas a afectar las causas, detener el proceso y mitigar los efectos. En la zona de estudio se prioriza su construcción en quebradas de Suaray, márgenes del río Huarcocondo y principalmente zonas aledañas a estructuras tectónicas. Los métodos más empleados para solucionar los problemas de caídas de rocas son los siguientes:

#### **8.3.2.1 TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL TALUD**

El cambio de la forma del talud y su pendiente es el modo más natural para su estabilización, el objetivo es descargar el talud de la parte superior (corona) a fin de restarle peso a la masa deslizante, también se debe desquinchar las partes altas de los taludes que han perdido estabilidad y se encuentran muy propensas a desprenderse y a deslizarse. Se puede reemplazar el material débil al pie del talud con materiales de compactación adecuada.

### **8.3.2.2 ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTOS**

Estas estructuras cumplen la función de sostener a la masa deslizante, generalmente son estructuras rígidas de concreto armado, gaviones y otros materiales de similar resistencia al empuje del deslizamiento, se ubican en la parte inferior de los deslizamientos. (Figura. 24)

### **8.3.2.3 ZANJAS DE INFILTRACIÓN**

Son pequeños canales de forma rectangular o trapezoidal construidas horizontalmente, subparalelas a la máxima pendiente de la superficie de la ladera, cuyo fin es interceptar el agua de escorrentía neutralizando su velocidad, permitiendo la infiltración, con lo que se reduce la erosión de la superficie del suelo y aumentando su seguridad, el cual es recomendable su construcción para el control de los deslizamientos en localidad de Kasacunca.

## **8.3.2 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA INESTABILIDAD EN LADERAS Y TALUDES**

En cualquier tipo de terreno que no sea horizontal, existe una serie de fuerzas que tienden a desnivelarlo. Dichas fuerzas son, entre otras, las de gravedad, filtración y presión de agua en las diaclasas. Las fuerzas que se oponen a estas con el fin de equilibrar el terreno son fundamentalmente la resistencia del terreno y el efecto de las raíces de los arboles. Cuando el primer grupo de fuerzas predominan sobre el segundo, el talud se hace inestable.

La mayoría de las pendientes abruptas que se dan en la naturaleza tienen su origen en la acción de las corrientes de agua, glaciares o desmonte de excavaciones, salvo las que resultan de grandes fallas tectónicas. La erosión,

en general, y sobre todo los fenómenos de inestabilidad de taludes tienden a suavizar dichas pendientes.

Cuando el talud se da en un macizo rocoso fresco, duro y no estratificado, la resistencia del mismo viene definida por la red de diaclasas que presenta. Si la roca es estratificada, la estabilidad de un desmonte realizado en ella depende, entre otros factores, de la posición relativa de los estratos o de la red de diaclasas paralelas, del eje del desmonte, del grado de meteorización y de las heladas. Si las direcciones de los estratos y del eje del desmonte son ortogonales, el caso es muy favorable, aun con taludes muy escarpados. Cuando las direcciones anteriores son paralelas el caso es desfavorable. El buzamiento de los estratos en estas circunstancias es muy importante. Cuando los estratos son verticales, la humedad, las heladas y los movimientos sísmicos pueden producir el desprendimiento esta, en súbito de fragmentos de roca. La frecuencia de las caídas es función de la inclinación del talud.

La magnitud de las caídas depende del buzamiento de la red de diaclasas. Si esta buza aunque sea ligeramente hacia el interior del macizo, este será relativamente estable. En el caso de que la red de diaclasas buze hacia el exterior del macizo, la ladera sea inestable produciendo su consiguiente desplome. (Figura.25).

Construcción de muros de concreto que ayuden a conservar la estabilidad del talud en zonas inestables por la erosión de laderas en los márgenes del río Cachimayo. (Figura.26).

### **8.3.3 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA ÁREAS CON INUNDACIONES Y FLUJOS**

#### **8.3.3.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN**

### 8.3.3.1.1 PERMANENTES

- Tratamiento de la microcuenca, para disminuir los flujos de agua, por ejemplo la construcción de **andenes** que por su forma escalonada, impiden que el agua corra pendiente debajo de manera violenta, reteniendo suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas.
- Protección de la cobertura vegetal, ya que mediante el sembrado de gramíneas, arboles y otras especies vegetales se protege a los suelos de la erosión, devolviéndoles su capacidad de retención del agua.
- Construcción de obras de ingeniería como en Zurite la **construcción y ampliación de canales** que permitan mantener ciertas áreas libres de inundaciones y flujos.

### 8.3.3.1.2 DE EMERGENCIA

- Construcción de defensas o refugios y mejoramiento de las ya existentes.
- Limpieza de canales de ríos y acequias.
- Acciones para combatir las inundaciones o los flujos rápidos.
- Evacuación de personas y pertenencias de las zonas amenazadas.
- Abrir los desagües para evitar los estancamientos de aguas que pueden ocasionar epidemias.
- Reprogramación de las actividades para reducir las pérdidas e interrupciones ocasionadas por las inundaciones y flujos rápidos.

La eficiencia de estas medidas es buena cuando la predicción y alarma de su ocurrencia se da apenas se tenga la certeza de que ocurrirían y que la población amenazada esté preparada para efectuar acciones adecuadas para su protección.

### 8.2.3.2.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES

Construcción de una línea principal de defensa que proteja toda la zona. Las estructuras de las líneas de defensa de protección contra las inundaciones deben consistir en:

- **Diques de defensa:** erigidos para proteger el terreno situado detrás. Deberá proveerse un margen bastante alto para el caso de que las condiciones de cimentación sean deficientes, con el fin de compensar un exceso de asiento del dique. (Foto: 27)
- **Los Gaviones:** están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos, el gavion acelera el estado de equilibrio del cauce. Evita erosiones, transporte de materiales y derrumbamientos de márgenes, además el gavión controla crecientes protegiendo cultivos y poblaciones contra inundaciones. (Foto: 28)
- Carreteras y otras vías de comunicación para el acceso al sistema de defensa, que permitan el tránsito de personas y equipo durante las operaciones de defensa o trabajos de mantenimiento.

## **CAPITULO IX**

### **IDENTIFICACION Y PROBLEMÁTICA DE IMPACTOS AMBIENTALES**

#### **9.1 GENERALIDADES**

Una de las primeras actividades que se debe realizar en cualquier estudio de impacto ambiental, es la identificación de los impactos potenciales asociados a las fases de un proyecto tipo y sus alternativas

##### **9.1.1 PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN BATELLE**

La calidad ambiental fluctúa de 0 a 1; donde 0 denota una alteración máxima (mala calidad ambiental) y 1 significa ningún cambio o modificación, por lo tanto una buena calidad ambiental. El peso asignado corresponde a una valoración en magnitud e importancia de las variables de acuerdo a las observaciones de campo e información proporcionada.

Se ha elaborado una matriz a fin de particularizar los impactos, para la Microcuenca del rio Cachimayo utilizando el modelo descriptivo de Batelle-Columbus.

Valoración:

**0 = Cambio muy significativo (Mala Calidad Ambiental)**

**1 = Ningún Cambio (Buena Calidad Ambiental)**

Calidad Ambiental con el Proyecto (CA CP)

Calidad Ambiental sin el Proyecto (CA SP)

Del cuadro podemos determinar que durante la etapa de ejecución de las obras de tratamiento y mejoramiento de la Microcuenca podría originar en su ámbito de influencia impactos ambientales como también positivos en ambos casos de una magnitud correspondiente.

CUANTIFICACION DE IMPACTOS SEGÚN LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO CACHIMAYO				
ACCION	IMPACTO		CA Cp	CA Sp
	NEGATIVO	POSITIVO		
GAVIONES	Movimiento de tierras Contaminación del agua Contaminación del aire	Mejora de las defensas ribereñas Protección de taludes, laderas y terrazas	0.7	0.2
DIQUES	Movimiento de tierras Contaminación del aire	Mejora del control de cárcavas, laderas y terrazas	0.8	0.5
FORESTACION	Variación en la vegetación original	Mejora de la protección de cárcavas, Taludes, laderas y Terrazas recuperación de suelos	0.7	0.4
HORMIGON PROYECTADO Y ANCLAJES	Alteración del macizo rocoso Cambio de visibilidad paisajista Contaminación del aire	Mejora de la protección y estabilización de taludes rocosos.	0.6	0.3
CANALES DE DESVIACION ZANJAS DE INFILTRACION	Movimiento de tierras Contaminación del aire	Mejora de la protección de cárcavas, protección de taludes, laderas y terrazas	0.7	0.4

Cuadro 9.1: Matriz de la cuantificación de impactos ambientales.

En conclusión, la calidad ambiental con los proyectos es de un 58% y sin los proyectos la calidad ambiental es de 36%.

## 9.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Contaminación y Alteración del régimen natural del recurso hídrico en zonas urbanas de la microcuenca del rio Cachimayo

El problema ambiental está dado por la contaminación y alteración del régimen hídrico, para lo cual es necesario conceptuar claramente los dos aspectos:

- **Contaminación:** es el cambio Cualitativo o alteración de las características naturales del agua: física química y biológica.

- **Alteración del régimen hídrico:** para efectos del estudio conceptualizaremos la alteración del régimen hídrico en 3 niveles: ríos, laderas y acuíferos.
  - *Ríos:* cambio o alteración del equilibrio natural del régimen hidráulico del río (ocurre inundaciones y erosión de riberas)
  - *Laderas:* cambio o alteración del equilibrio entre el escurrimiento y la infiltración en los suelos de ladera (ocurre erosión y deslizamientos).
  - *Acuíferos:* cambio o alteración del equilibrio entre la máxima capacidad de retención de agua de lluvias y la cantidad de agua de salida de los manantes (disminuye el agua en los manantes o desaparecen, agudizando el desequilibrio entre la oferta y la demanda)

Por lo mencionado el problema central de la microcuenca está relacionado a la contaminación y alteración hídrica es decir se está produciendo un cambio en las características intrínsecas del agua y un desequilibrio hidrológico en cauces y laderas con respecto a la relación agua, suelo debido a que hay serias deficiencias de gestión y manejo del recurso hídrico, así como una expansión de la población urbana en forma desordenada, los cuales tienen que ser asumidos por la población y sus autoridades para atenuar los impactos que se vienen generando afectando la calidad ambiental y salud de la población.

### **9.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA**

El problema central es la contaminación y alteración del régimen natural del recurso hídrico en zonas urbanas de la microcuenca de Cachimayo.

Está relacionado con las siguientes causas directas.

#### **9.2.1.1 EXPANSIÓN URBANA DESORDENADA**

La expansión urbana desordenada en la microcuenca de Cachimayo, se debe a los siguientes factores:

#### **9.2.1.1.1 NECESIDAD DE VIVIENDA DE LOS POBLADORES**

La expansión urbana es el de un crecimiento urbano caótico y desordenado, siendo una de las principales motivaciones para este hecho la necesidad imperiosa de vivienda por parte de los pobladores quienes en los últimos 10 años han edificado viviendas en su mayoría de adobe incrementando en un 100% la población de los últimos 10 años, así como la superficie en un 100% incluso se han producido invasiones de los cerros aledaños en terrenos no aptos para edificación de viviendas lo que agudiza la problemática del ordenamiento urbano.

#### **9.2.1.1.2 LIMITADA APLICACIÓN DE PLANES Y POLÍTICAS DE DESARROLLO URBANO**

Autoridades y dirigentes deben realizar acciones para un mejor manejo de sus jurisdicciones pero dichas acciones no siempre están enmarcadas dentro de un plan y/o políticas de desarrollo urbano lo que repercute en una limitada aplicación de planes y políticas de desarrollo urbano.

Actualmente la población urbana de los distritos de Cachimayo, Pucyura y Anta está creciendo en forma desordenada y caótica, además de estar proliferando construcciones de estaciones de servicio de combustible y otro tipo de infraestructura en su radio de influencia.

#### **9.2.1.2 DEFICIENTE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**

Esta deficiente gestión del recurso hídrico se debe a los siguientes factores:

#### **9.2.1.2.1 DÉBIL CONOCIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**

Es un concepto poco conocido y difundido, en la práctica cotidiana del 66.2% de pobladores muestra un nulo conocimiento de la gestión hídrica y gestión en microcuencas, el 33% restantes de la población generalmente las autoridades tiene una idea de este concepto; pero no en su real magnitud, sin embargo en la práctica cotidiana no la practican. Estos conceptos son manejados solamente por instituciones especializadas.

#### **9.2.1.2.2 INCIPIENTE ORGANIZACIÓN PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL**

Son pocas las instituciones que se dedican a la gestión ambiental lo que demuestra que los niveles de capacitación y sensibilización no han llegado a la población lo que contribuye al escaso conocimiento de la problemática ambiental de la zona.

En la microcuenca y en la región Cusco existen instituciones con objetivos similares en temas medio ambientales y manejo del recurso hídrico como: CONAM, SEDACUSCO, DIGESA, ASOCIACION INCA, PRONAMACHS, ONGs proyectos como RETAMA y otros, sin embargo trabajan aisladamente uno de los factores es que los niveles de concertación por parte de las autoridades municipales y los representantes de las instituciones son insuficientes, así como falta de capacidad de negociación.

### **9.2.1.3 DEFICIENTE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO**

Con poca presencia de acciones y obras de acondicionamiento al control, conservación y preservación del recurso hídrico en beneficio de los centros urbanos considerados.

#### **9.2.1.3.1 INSUFICIENTE RECURSO HÍDRICO**

En la microcuenca se explota y se usa el recurso hídrico en diversas actividades, sin proveer acciones para su conservación y preservación.

Actualmente se estima que en la microcuenca se han tratado 7.83 hectáreas con zanjas de infiltración en las zonas de Simataucca en el distrito de Cachimayo con el apoyo de la comunidad, PRONAMACHS y el Banco Mundial igualmente se han construido 8.5 hectáreas de terrazas de formación lenta; sin embargo estas acciones son insuficientes ante la magnitud de los fenómenos erosivos.

#### **9.2.1.3.2 DISMINUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS ACUÍFEROS**

En las partes altas es una de las causas de la disminución de estas fuentes, está se manifiesta en prácticas inadecuadas como el sobrepastoreo, la quema de pastos y bosques que deterioran la cobertura vegetal, originando una menor infiltración de agua en los acuíferos rocosos, afectando las recargas con una menor disponibilidad de agua en época de estiaje.

Se estima que en la microcuenca existen zonas acuíferas de importancia del tipo kárstico que ocupa una superficie de 1500 hectáreas el 12.5% ,en gran parte de esta unidad acuífera por la presencia de suelos adecuados y un mejor clima se realizan actividades

agrícolas principalmente pecuarias, existiendo también zonas herbáceas y rocosas que se destinan al pastoreo sobreexplotando los pocos pastos existentes, respecto al manejo de las pasturas de estas zonas para la actividad pecuaria no existen acciones concretas para ello, el ganado se pastorea en forma extensiva y desordenada, habiendo una sobrecarga de ganado con respecto a la soportabilidad de los pastos naturales con su consiguiente deterioro progresivo en cuanto a su calidad forrajera, influyendo negativamente en su efecto protector del suelo ante los procesos erosivos y en su capacidad de infiltración hídrica.

### 9.2.1.3.3 DEMANDA INSATISFECHA DEL AGUA PARA USO DOMESTICO Y RIEGO

En el cuadro 9.2, se muestra los resultados de análisis de aguas a través. De muestreos de campo en fuentes de agua para consumo humano que actualmente se utilizan, comparándose con valores permisibles otorgados por organismos competentes.

PARAMETROS GUIA DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO						
PARAMETROS	UNIDADES	MAXIMOS VALORES PARA AGUA DE CONSUMO	OMS (1995)	DIGESA (1999)	COMUNIDAD EUROPEA (1990)	USA (1998)
SABOR	Varias	Acept.		Acept.		
TURBIEDAD	UNT	43	5	3	1.5	5
TEMPERATURA	C°	15.5			25	15
ALCALINIDAD	Mg/CaCO3	245				
DUREZA	Mg/CaCO3	340		500		
O.D	Mg/lts	-				
AMONIO	Mg/lts	-				
CONDUCTIVIDAD	MS/cm			1500	2,000	
COLI FECALES o E COLI	NMP/100ml	2,400	0	0	0	0
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	2,400	0	0	0	0
BACTERIAS HETEROTROFICAS	NMP/ml	-		500	20	500

Cuadro 9.2: Muestreo y análisis de agua de campo. Fuente CEPIS (2000).

De los análisis realizados en el agua de las fuentes de consumo humano se ha determinado que los máximos valores encontrados y que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por : la OMS, DIGESA, COMUNIDAD EUROPEA y la USA son: presencia de sólidos suspendidos de hasta 1386.8 mg/l, siendo el límite máximo permisible establecido por la OMS de 1000 para agua potable, turbiedad 43 UNT, coliformes totales: 2400 NPM y coliformes focales 2400 NPM, razón por la cual se ubican como aguas de clase II y VI, lo que significa que si van a ser utilizadas para abastecimiento domestico, necesitan tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud o caso contrario podrán ser utilizadas únicamente en riego, zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

#### **9.2.1.4 VERTIENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS SIN TRATAMIENTO**

Se estima que alrededor de 7,69 l/seg (27,864 m<sup>3</sup>/día) de aguas residuales sin tratamiento son vertidos a los ríos sobre todo al Cachimayo. Existen residuos líquidos industriales como la fábrica de Cachimayo que produce anfo los cuales son tratados con cal para reducir la acidez de las aguas producidas; este tratamiento ha generado según pobladores de la zona la desaparición de batracio y otras especies acuáticas; otra industria es el camal de Izcuchaca, donde se contamina el agua con la producción de materia orgánica que produce la eutrofización de los sistemas acuáticos por la disminución del oxígeno, en dicho aspecto es necesario que el río Cachimayo presenta bajas pendientes que limita la oxigenación y el proceso de autodepuración.

En este aspecto la ley y la normatividad de municipalidades establece como una de sus funciones observar, controlar y fiscalizar a las empresas sobre

la aplicación de instrumentos de Gestión Ambiental; sin embargo en la práctica estas funciones no se cumplen adecuadamente.

Respecto a los residuos sólidos, estos también los ríos, suelos y quebradas. Los centros poblados no cuentan con relleno sanitarios, el destino de los residuos sólidos son los botaderos, en el caso de algunas localidades se determina una quebrada para ello. Mientras que en Cachimayo y Pucyura íntegramente los residuos sólidos son depositados irresponsablemente en el río Cachimayo.

Un 80% de basura producida tiene como destino los ríos se estima que la producción per cápita de basura en la zona es de 0.512 kg/día (2876m<sup>3</sup>/año) predominando en su composición los de tipo combustible con un 47.25%, siendo los plásticos dentro de este rubro los de mayor porcentaje 31.30% del total( se considero plásticos duros y blandos) seguido de otros como ceniza, tierra, hueso y follaje con un 25.98% así mismo se estima que en 20 años la producción de residuos sólidos será de 3862 m<sup>3</sup>/año; es visible observar en la zona que los servicios de recolección, transporte, disposición y tratamiento final de los residuos sólidos es muy deficiente.

El siguiente cuadro refleja los valores máximos determinados para las aguas del río Cachimayo en las microcuencas: alta, media y baja a partir de los análisis de las muestras de agua, los mismos que se comparan con los parámetros de la Ley General de Aguas establecidas para la clase III “Apta para riego de vegetales de consumo crudo y para bebida de animales”.

<b>CLASIFICACION DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO CACHIMAYO</b>					
Parámetros		Parte Alta	Parte Media	Parte Baja	Según Ley Gral. Aguas para la Clasif. III D.L. N° 17752I
Determinación	Unidades				
Turbiedad	UNT	280	250	>500	-
Temperatura	°C	15.5	15.8	15.6	15
Alcalinidad	Mg/lCaco3	212	346	324	-
Dureza	Mg/lCaco3	430	1020	686	-
O.D	Mg/l	11.08	12.38	10.49	3
Conductividad	M s/cm	753	1826	1220	500
Colifecales	NPM/100ml	24000	75000	240000	1000
Coli Totales	NPM/100ml	46000	110000	460000	5000
Nitratos	Mg/lts	10.2	12.4	10.2	0.1
Cobre	Mg/lts	0.05	0.15	0.10	0.5
Zinc	Mg/lts	0.04	0.30	0.06	25

Cuadro 9.3: Clasificación de la calidad del agua fluvial. Fuente: Ley General de Aguas N° 17752

De la interpretación del cuadro, se puede concluir que las calidades de los parámetros del río Cachimayo sobrepasan los límites permisibles de la clase III en cuanto a coliformes totales estos por su magnitud sobrepasan aun la clase VI; por lo tanto estas aguas están restringidas para cualquier uso.

#### 9.2.1.5 POBLACIONES EN ZONAS VULNERABLES

La presencia de poblaciones en zonas vulnerables ante los procesos geodinámicos como deslizamientos e inundaciones sin acciones de protección, es un indicador del deficiente manejo del recurso hídrico, lo cual acelera la inestabilidad de las laderas y reduce la capacidad hidráulica de los ríos y quebradas poniendo en riesgo a la población se estima que 728 habitantes viven en zonas de riesgo tanto en laderas y cauces.

#### 9.2.2 EFECTOS DEL PROBLEMA

Los efectos o impactos que se vienen generando actualmente en la microcuenca por las causas descritas son las siguientes.

### **9.2.2.1 DETERIORO Y DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

En este aspecto el río Cachimayo es el más afectado, los niveles de contaminación provenientes de la parte alta de Cachimayo se incrementan debido a los efluentes de la industria de Anfo en Cachimayo y los efluentes de desagües que desembocan directamente en el cauce del río, razón por la cual la contaminación se agudiza en la parte media y baja (Pucyura, Anta) incrementando los valores de coliformes totales y fecales hasta 460,000 NPM/100ml y 240,000 NPM/100ml respectivamente, los mismo que no permiten clasificar la calidad de agua en los niveles de acuerdo a su uso, significando esto que es agua no apta para ningún uso por su elevada carga bacteriológica; sin embargo está siendo utilizada en riego corroborando el hecho de encontrarse en franca degradación, si no se toman las medidas necesarias de control, se estima que en el mediano plazo, por el crecimiento y la actividad humana, este recurso triplicara sus niveles de contaminación, desapareciendo la escasa fauna y flora acuática la que actualmente se encuentra impactada especies como “pato silvestre” se encuentran muy pocas y algunas como “wita” “checclla” y sapos han desaparecido.

Respecto a la calidad fisicoquímica se encuentra ubicada en el nivel III “Agua apta para riego de vegetales de consumo crudo y para bebida de animales”, sin embargo la elevada carga bacteriológica antes descrita condiciona su uso, es decir son aguas no aptas para ningún uso.

La proliferación de enfermedades diarreicas y parasitarias del aparato digestivo, así como las afecciones dérmicas en los niños principalmente, relacionadas a la contaminación hídrica y la polución aumentara en gran medida, superando largamente las actuales; según los datos de MINSA una de las primeras causas de la morbilidad de la población en general de la

microcuenca lo constituye las enfermedades infecciosas y parasitarias en un 19.86% lo que se ratifica al ser también la cuarta causa de la mortandad general de la población, cuyas causas están vinculados al problema de baja calidad de agua para consumo humano.

El uso de esta agua en el riego actualmente no mantiene niveles aceptables estando restringidas para su uso en el riego de hortalizas u otras plantas de tallo corto lo que afecta gravemente a la salud de la población no solo de la zona sino también de consumidores potenciales además de la producción de sus cultivos y a su economía familiar ya que la principal actividad de la zona es la agricultura; se estima que actualmente son regadas 205 hectáreas con aguas servidas en el piso de valle dentro de la microcuenca, de las cuales aproximadamente 70 hectáreas están con cultivos de hortaliza (cebollas y zanahorias) dichos productos son expendidos en los mercados de Cusco y distritos aledaños.

#### **9.2.2.2 LA EROSIÓN DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES EN ZONAS VULNERABLES**

La microcuenca presenta zonas vulnerables a procesos geodinámicos se estima que 1750 hectáreas (18%) presentan erosión de severa a crítica de naturaleza laminar, surcos y cárcavas sobre todo en zonas de fuerte pendiente, lo cual viene originando un proceso de desertificación paulatina con la pérdida de tierras agrícolas y de pastos naturales. La presencia de deslizamientos y su transporte es frecuente, los cerros aledaños a los centros poblados de Cachimayo muestran transporte de materiales que los afectan en épocas de lluvias, igualmente el poblado de Pucyura es amenazado constantemente por la presencia de caídas de rocas en las partes altas de la quebrada de Ccochapunco, en el presente año 12,000m<sup>3</sup> de tierras deslizadas, están propensas a ser transportadas poniendo en riesgo su población, así mismo podrían ser afectados terrenos de cultivo

viviendas e infraestructura de la zona especialmente la carretera Cusco - Urubamba, importante vía de desarrollo turístico.

La presencia de inundaciones es frecuente en época de lluvias en las áreas rurales y los centros poblados mencionados, se estima que 145 hectáreas de terrenos en 15 km de recorrido del río Cachimayo, son inundados cada año por falta de medidas de protección y dentro de ello se encuentran áreas vulnerables como los centros poblados; siendo afectadas la población, viviendas que en su mayoría son de adobe, infraestructura vial (calles y puentes) y su producción pecuaria, originando pérdidas económicas para la población y el estado.

### **9.2.2.3 LA PÉRDIDA PAULATINA DE LAS FUENTES DE AGUA**

Estas fuentes de agua abastecen a la actividad agrícola y humana, actualmente la oferta hídrica sobre todo en la época de estiaje, proviene de acuíferos rocosos que se manifiestan a través de los denominados manantes, se estima en la microcuenca 164 manantes que aportan un total de 180lt/seg, 64 manantes son utilizados para la actividad doméstica urbana con 89lt/seg y 91lt/seg para el riego y ganado, estos acuíferos se manifiestan mayormente en rocas de naturaleza calcárea denominados kársticos; el uso industrial 13.7lt/seg se da por la empresa de anfo de Cachimayo, captando las aguas del río Corimarca. (Fuente: IMA 2005).

En los últimos años según manifestación de los pobladores estos recursos hídricos vienen disminuyendo en sus caudales y en algunos casos hasta han desaparecido; este fenómeno es generalizado no solo en la microcuenca, sino también en el ámbito andino; por lo que se viene agudizando la escasez de agua creando conflictos de uso ante la creciente demanda de agua que agudiza esta situación es que la microcuenca de Cachimayo es aledaña a la cuenca del Huatanay donde se encuentra la

ciudad del Cusco, la cual atreves de su empresa SEDACUSCO viene obteniendo con más frecuencia recursos hídricos para su población, estimándose que actualmente 25lt/seg de agua salen de la microcuenca hacia la ciudad del Cusco; lamentablemente esta empresa mantiene en reserva la cantidad de agua extraída.

El problema se agudiza en las áreas de ladera donde escasea el recurso hídrico provenientes de pequeños manantes, al no estar disponibles económicamente la oferta hídrica por la profundidad de los principales ríos que generalmente riegan el piso de valle. En el sector urbano la dotación de agua percapita se mantiene dentro de los parámetros normales (80lt/hab./día) con la captación y redes hídricas de 29 fuentes hídricas (manantes) sin embargo en el corto plazo debido a la fuerte migración urbana hacia esta zona se agudizaran los conflictos .

### **9.3 PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL**

Este plan de monitoreo ambiental está diseñado a largo plazo para observar, muestrear, medir y analizar los datos técnicos y ambientales que son útiles para la prevención y control de deterioro o daños ambientales que se producen en la microcuenca de Cachimayo y Huarcocondo, además de servir para el seguimiento y control de las medidas y obras implementadas por el proyecto y para la determinación del impacto de las mismas sobre el ambiente, pudiendo a tiempo seleccionar acciones fundadas y sistemas de detección-prevención y/o medios para solucionar los problemas ambientales que afectan la economía, la salud pública y en definitiva la calidad de vida de la población.

#### **9.3.1 DISEÑO**

El monitoreo es el instrumento que nos permite mantener el diagnostico o línea base actualizado, está diseñado para recolectar datos representativos que

caracterizan las cantidades y propiedades de todas las fuentes de contaminantes gaseosos, líquidos, semisólidos y sólidos y actividad humana que deteriora el ambiente, así como las actividades que el proyecto ejecute y ponga en práctica tomando en cuenta detalles metodológicos, respecto a los muestreos, evaluación y análisis de los parámetros y elementos seleccionados además de ser específico para cada situación en particular.

### **9.3.2 METODOLOGÍA**

Para el monitoreo de los parámetros seleccionados se implementaron 6 tipos de monitoreo de la Problemática Ambiental:

- Monitoreo del Recurso Agua
- Monitoreo del Recurso Aire
- Monitoreo del Recurso Suelo
- Monitoreo Ambiental de Flora y Fauna
- Monitoreo Ambiental de Paisaje
- Monitoreo de los Sistemas de Gestión
- Monitoreo de la dinámica de Población.

Todos mencionados en el cuadro anterior, los métodos de muestreo y medición para el monitoreo y cada programa, han sido seleccionados desde la observación directa, realización de encuestas, entrevistas personales y para el caso de toma de muestras desde el simple muestreo manual pasivo hasta el monitoreo con métodos automáticos por existir parámetros y elementos que deben ser descritos insitu por los procesos fisicoquímicos que se producen en ellos, influyendo grandemente la temperatura y el tiempo dependiendo de la toma de muestras la calidad de los datos, el resto de las muestras obtenidas se conducirán por el profesional a laboratorios reconocidos para la realización de los análisis respectivos.

### **9.3.2.1 MONITOREO DEL RECURSO AGUA**

Consiste en el monitoreo de la calidad, cantidad y uso del recurso hídrico. Para la calidad de aguas se llevarán a cabo los análisis físicoquímicos y bacteriológicos, los puntos seleccionados son representativos para la zona de estudio se tomarán muestras en el río principal: Cachimayo (4) en los ríos secundarios Corimarca (Cachimayo), Cullomayo (Pucyura), principalmente en el Corimarca que es el que abastece a la fábrica de Cachimayo (4), en las aguas de consumo humano: captaciones y reservorios (4), en las aguas de lixiviados del relleno sanitaria (3) y en los efluentes de los desagües (5) para monitorear la cantidad se realizarán aforos en 70 puntos, seleccionando aquellos con caudal mayor a 1lt/seg. Y aquellos que se encuentran más cercanos a los centros poblados, constituyéndose como los más vulnerables y propensos a ser captados para diferentes usos los que han sido seleccionados en función de su aforo a la fecha, el uso del recurso hídrico también se determinará por monitoreo de los mismos 70 puntos. El recurso hídrico debido a las características climáticas de la zona será monitoreado semestralmente: en el mes de febrero, representativo para épocas de lluvias y en el mes de setiembre representativo para épocas de secas.

### **9.3.2.2 MONITOREO DEL RECURSO AIRE**

Este recurso se ve principalmente afectado por la actividad de la fábrica de Cachimayo, que iniciará pronta operación en la producción de cemento, proceso que origina gran cantidad de partículas de polvo suspendidas que afectarían severamente la economía (agricultura y ganadería) del lugar. El programa de monitoreo contempla 4 estaciones de muestreo del recurso aire ubicados en el radio de influencia de la contaminación por “polvo” realizando las evaluaciones cada 3 meses, en estas mismas 4 estaciones

se realizara el monitoreo de ruidos que puedan afectar el normal desarrollo de la vida del poblador del lugar.

### **9.3.2.3 MONITOREO DEL RECURSO SUELO**

La erosión, deslizamientos e inundaciones, así como los residuos sólidos y líquidos depositados en el suelo, son los que ocasionan impactos negativos en el recurso y constituyen las principales fuentes de deterioro y contaminación del mismo.

Este monitoreo se realizara en 24 puntos, 10 de ellos están destinados al monitoreo de la erosión y deslizamientos de acuerdo al diagnostico actual en zonas de riesgo de inestabilidad, otros 10 están destinados al monitoreo de las inundaciones en los terrenos de cultivo en zonas aledañas al cauce de los ríos y los 4 restantes son específicos para monitorear la acumulación de metales pesados producto de la disposición final de los residuos líquidos y sólidos que pueden afectar el equilibrio y uso de suelo en la zona de estudio. Se lleva a cabo semestralmente para contrastar la influencia de las precipitaciones fluviales frente a la época de secas.

### **9.3.2.4 MONITOREO AMBIENTAL DE FLORA Y FAUNA**

Consiste en realizar el seguimiento a la información de flora y fauna y comunidades naturales, tasa de deforestación, especies biológicas raras, amenazadas en peligro de extinción o de interés por su uso, partiendo del diagnostico actual como línea de base a fin de determinar la evolución y dinámica de los recursos de flora y fauna a partir de la implementación del proyecto dado que la desaparición de muchas especies se acusan a la contaminación existente en la zona. Se determinara 6 estaciones de muestreo y el monitoreo se llevara a cabo 2 veces al año, el mismo que

conducirá a la elaboración de censos de flora y fauna tanto acuática como terrestre.

#### **9.3.2.5 MONITOREO AMBIENTAL DEL PAISAJE**

Constituyen un factor importante dentro de los componentes del proyecto, puesto como parte del mismo se llevara a cabo el ordenamiento urbano y acondicionamiento territorial en la microcuenca de Cachimayo, debiendo monitorear en por lo menos 3 puntos y 4 veces al año como se modifican los elementos espaciales del territorio y principalmente que cualquier actividad que se lleve a cabo en la microcuenca no traiga un impacto visual negativo.

#### **9.3.2.6 MONITOREO DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN.**

Como parte del componente: Fortalecimiento de Organizaciones, conforme se vaya trabajando en el tema se irá monitoreando la eficiencia de estos sistemas de gestión para la microcuenca en cada distrito mensualmente.

#### **9.3.2.7 MONITOREO DE LA DINÁMICA DE LA POBLACIÓN**

Es de especial importancia el monitoreo de este parámetro puesto que es la causa principal de la contaminación y desequilibrio existente en la zona y el motivo que da lugar a la realización de este proyecto, dado que la microcuenca viene siendo habitada drásticamente en los últimos años el número de habitantes se ha duplicado por la constante migración, sin una planificación previa, siendo indispensable contar con la información que nos muestre como se desenvuelve el crecimiento poblacional en la zona a través de la realización de encuestas y basándonos en los censos poblacionales y tasas de crecimiento, el mismo que se llevara a cabo una vez al año, en cada distrito Cachimayo, Pucyura y Huarcocondo.

En monitoreo posteriores, se seleccionaran solo los indicadores más importantes que varíen de acuerdo a los insumos utilizados y tecnología empleada en determinada actividad a monitorear. De tal modo que se determine los parámetros relevantes para el cumplimiento del monitoreo, que brinden los niveles óptimos de exactitud, precisión, integridad, representatividad y comparación, a fin de alcanzar los objetivos del monitoreo de la calidad ambiental.

La elección de los contaminantes que serán monitoreados se ha basado en los resultados del diagnostico (análisis de agua) y reconocimiento de la zona de influencia del proyecto y en forma preliminar por los episodios de contaminación en el área estudiada.

De esta forma es posible predecir aspectos de funcionamiento y respuesta de los ecosistemas frente a las alteraciones creadas por diversas actividades humanas en la microcuenca.

### **9.3.3 LA SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO**

Está basada en los objetivos del monitoreo y los recursos disponibles incluidos los requerimientos de los instrumentos a utilizar, la necesidad de seguridad, acceso físico fácil, servicios (energía y teléfono) y la no existencia de interferencias que pueden variar los datos reales. En general el sistema de monitoreo recolectara datos en por lo menos 4 lugares diferentes de la zona, específicamente: en áreas no impactadas, en áreas industriales, áreas agrícolas y áreas residenciales. Por ello las evaluaciones periódicas de la representatividad del sitio son importantes, en este caso en particular se tomo en cuenta los siguientes efectos que constituyen riesgo Ambiental:

- Efectos sobre la salud o seguridad de las personas.

- Efectos adversos sobre la cantidad o calidad de los recursos naturales.
- Efectos adversos sobre los ecosistemas o alteración de los procesos ecológicos esenciales.
- Efectos adversos sobre zonas especialmente sensibles o por su localización próxima a poblaciones o recursos naturales susceptibles de ser afectados.
- Efectos adversos a la actividad económica de la zona.
- Alteración de las cualidades o el valor paisajístico o turístico de zonas.
- Efectos adversos a la infraestructura de servicios básicos.

El procesamiento de datos e informe se realiza para cada estación y para el periodo de monitoreo determinado, estos datos son adicionados a los existentes y presentados por periodos de monitoreo: semestral con el siguiente contenido:

- Información básica de la zona de estudio, incluyendo el mapa del área con la ubicación correspondiente de las estaciones de muestreo.
- Descripción de la red de muestreo y la ubicación de cada estación.
- Hojas de registro de datos de campo.
- Reportes de laboratorio.

Los informes son presentados semestrales, de manera clara, consiste debe contener:

- Objetivos
- Metodología y procedimientos empleados para lograr los objetivos
- Resultados del monitoreo y conclusiones derivadas de la interpretación de los resultados
- Recomendaciones
- Anexos

El informe que se presente semestralmente debe indicar, los parámetros monitoreados, la frecuencia de muestreo y análisis, además de los puntos de muestreo acompañado de cartografía (si fuera de necesario), señalando los órganos receptores de los informes de monitoreo y periodicidad de entrega de estos a las instituciones competentes (municipalidades distritales involucradas en el proyecto entidad(es) o institución(es) ejecutora(s) y autoridad ambiental competente).

Los resultados de parámetros medidos en campo serán contrastados con los analizados en el laboratorio, todos estos deben estar anotados en fichas que serán elaboradas previamente para cada estación y colocadas en el archivo que será implementado para el monitoreo.

La información deberá ser almacenada por un periodo mínimo de 5 años, debiendo estar el archivo a disposición de la autoridad competente cuando esta así lo requiera.

## CONCLUSIONES

- La microcuenca de Cachimayo, por encontrarse entre los 3200 y 4300 msnm., presenta tres zonas de vida: Bosque seco montano bajo subtropical, Bosque húmedo montano subtropical y Páramo muy húmedo subandino subtropical.
- La microcuenca de Cachimayo, geomorfológicamente se ubica en las Altiplanicies (Pampa de Piuray – Maras, Meseta de Chinchaypucyo, Depresión de Anta); entre la Cordillera Oriental y las montañas del Cusco.
- La zona de estudio presenta una predominancia de pendientes Poco Empinadas (25% - 50%) que abarcan el 51.37% de la superficie total, con un promedio de pendiente de 33.27%.
- De acuerdo a los parámetros geomorfológicos, la microcuenca de Cachimayo tiene un área 455.24 km<sup>2</sup> y un perímetro de 109.92 km, de forma sinuosa y alagada, con una altitud media de 3795 msnm, un desnivel de 1170 m desde la cota mínima a la máxima y una densidad de drenaje 0.34, es decir la microcuenca es pobremente drenada.
- La geología local de la zona de estudio, está definido por afloramientos rocosos del Cretáceo (Grupo Yuncaypata) al Cuaternario.
- Las estructuras principales, para la zona de estudio la constituyen la falla Zurite de orientación E - W, y la falla Kasacunca de orientación NW – SE.
- La precipitación calculada en la microcuenca de Cachimayo, con datos obtenidos de 38 años de registro (1970 – 2007) es de 832.1 mm, con una temperatura promedio de 11.12 °C, cuya evaporación real es de 523 mm, la escorrentía superficial es de 409.88 mm y su infiltración es de 76.20 mm; con cuyos datos se llegó al Balance hídrico que presenta un déficit de 176.98 mm.
- La Formación Anta y el Grupo San Jeronimo, son por su amplio afloramiento en la zona y sus características hidrogeológicas, constituyen los acuífero más importantes de la microcuenca, la Formación Anta con valores de porosidad efectiva de 3.71% y permeabilidad de 1.54 m/día y el Grupo San Jeronimo (Formación Kayra) con valores de porosidad efectiva de 2.45% y permeabilidad de 0.12 m/día.

- Por la determinación del análisis fisicoquímico de las aguas subterráneas, e interpretación del diagrama logarítmico de potabilidad, en promedio la mayoría se encuentran dentro de los rangos potables para el consumo humano, a excepción del Aforo Machaybamba, que no es potable, pero si aceptable para el uso agrícola.
- El peligro sísmico es el sistema de fallas sísmogénicas activas de la región del Cusco, la falla de Zurite es directamente responsable de los eventos sísmicos ocurridos en la microcuenca Cachimayo, el sismo de 4.0 mb del 2 de Julio del 2009 caracteriza la actividad reciente de la falla Zurite; dependiendo de la intensidad sísmica producida por esta falla, los poblados de Zurite, Ancahuasi y Huarocondo serian los más dañados en su infraestructura.
- Los principales procesos de geodinámica externa ocurridos en la zona de estudio, son las caídas de rocas, flujos, deslizamientos, movimientos complejos, erosiones fluviales, erosión de laderas e inundaciones, son originados o reactivados por los constantes cambios climáticos (precipitaciones intensas), la fuerte pendiente, suelos no cohesivos en las pendientes y deformaciones estructurales (fallas).
- De acuerdo a la evaluación de riesgos realizado por el método de la matriz de peligro y vulnerabilidad se ha zonificado cuatro áreas de riesgo: riesgo muy alto son poblados e infraestructura vulnerables a los peligros de deslizamientos y flujos en zonas próximas a deformaciones estructurales (fallas); riesgo alto, son zonas vulnerables a inundaciones a los poblados que se desbordan por su baja pendiente y saturación de detritos y riesgo medio, son zonas vulnerables a deslizamientos e inundaciones que están regularmente controlados por obras civiles de prevención.
- Del modelo descriptivo de Batelle, que durante la ejecución de obras de prevención en la microcuenca Cachimayo, la calidad ambiental con los proyectos es de un 58% y sin los proyectos la calidad ambiental es de 36%.
- El impacto ambiental en el agua proveniente del rio Cachimayo por determinación de análisis químicos es exclusivo para uso de riego se encuentra ubicado en el nivel III. Agua apto para riego de vegetales de

consumo crudo y para bebida de animales. Sin embargo la elevada carga bacteriológica antes descrita condiciona su uso, es decir son aguas no aptas para el consumo humano.

- Se estima que alrededor de 7.69 lts/seg (27,864 m<sup>3</sup> /día) de aguas residuales sin tratamiento son vertidas a los ríos especialmente al Cachimayo, siendo la fábrica de Cachimayo la que vierte residuos líquidos industriales como nitrato de amonio (anfo) siendo tratados con cal para reducir la acidez de las aguas producidas. Dicho tratamiento ha generado la desaparición de especies acuáticas (batracios).
- Un 80% de basura producida por la población tiene como destino los ríos se estima que la producción percapita de basura en la zona es de 0.512 kg/día (2876m<sup>3</sup>/año) predominando en su composición los de tipo combustible con un 47.25%, siendo los plásticos dentro de este rubro los de mayor porcentaje 31.30% del total( se considero plásticos duros y blandos) seguido de otros como ceniza, tierra, hueso y follaje con un 25.98% así mismo se estima que en 20 años la producción de residuos sólidos será de 3862 m<sup>3</sup>/año; es visible observar en la zona que los servicios de recolección, transporte, disposición y tratamiento final de los residuos sólidos es muy deficiente.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios a detalle, sobre el comportamiento hidrogeológico de los diferentes acuíferos (Anta, Kayra, San Sebastián), principalmente los más cercanos a las poblaciones, para obtener valores hidrogeológicos más representativos de estos acuíferos.
- Realizar aforos con mayor frecuencia en los manantiales de los acuíferos más importantes de la microcuenca Cachimayo (Anta y Kayra) como parte de un plan de abastecimiento y contingencia contra la escasez de agua.
- Evitar las prácticas inadecuadas de sobrepastoreo en las partes altas, quema de pastos y bosques ya que deterioran la cobertura vegetal, originando una menor infiltración de agua en los acuíferos rocosos. Afectando las recargas.
- Se recomienda la implementación de un comité de gestión que deberá estar encabezado por el municipio, organismos no gubernamentales y la sociedad civil para que elaboren planes de gestión de riesgos de la microcuenca Cachimayo.
- Realizar obras civiles de protección y/o limpieza de detritos de los cauces de los ríos principalmente en aquellos de baja pendiente con el fin de evitar o minimizar las inundaciones en temporadas de precipitaciones.
- Realizar un continuo seguimiento de prevención a los principales deslizamientos y flujos (Kasacunca y Zurite) por ser fenómenos de reactivación en temporadas de lluvias y realizar canalizaciones en ampliación y encausamiento para estos fenómenos naturales.
- Realizar periódicamente muestreos de agua a nivel de la microcuenca determinando el contenido bacteriológico presente en las aguas de preferencia para uso de riego y consumo humano.
- Realizar sensibilización a las poblaciones con respecto al problema de los residuos sólidos y su efecto en la salud de los mismos pobladores ya que la no existencia en algunas localidades de un botadero propicia q la basura tenga como destino final el mismo rio Cachimayo.

## BIBLIOGRAFIA

1. BARRETO CASTRO J. (2010). **“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS EN EL GRUPO SAN JERONIMO, SECTOR TANCARPATA”** Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, p 63-103.
2. BARRIENTOS GUZMAN C. **“ESTUDIO DE RIESGO SISMICO PARA LA CIUDAD DEL CUZCO”**, UNSAAC, 4p.
3. BENITES CHUNGA C. (1977) **“ESTUDIO DE LOS PARAMETROS GEMORFOLOGICOS DE UNA CUENCA”** (MINISTERIO DE AGRICULTURA) LIMA PERU
4. BENITEZ A. (1972). **“CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS”** Segunda edición. Editorial Dossat, S.A., p 7-110. Madrid.
5. BRUCE E.; WINTRHOP D.; PAUL F. (1981). **“GEOLOGÍA ESTRUCTURAL”**. Ediciones Omega, S.A., p 22-57. Barcelona
6. CARREÑO, R. (1998). **“SEGUNDO CURSO-TALLER DE IDENTIFICACION Y CARTOGRAFIA DE TERRENOS INESTABLES”**, APUNTES COLEGIO DE INGENIEROS
7. CARLOTTO V. GIL W. CARDENAS J. CHAVEZ R. (1996) **“GEOLOGIA DE LOS CUADRANGULOS DE URUBAMBA Y CALCA HOJAS 27r y 27s”** Bol. Del INSTITUTO GEOLOGICO MINERO METALURGICO DEL PERU 254p. Lima.
8. CASTANY, G. (1975). **“PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS”**. Ediciones Omega, S.A. 738 p. Barcelona.
9. CASTAÑO CASTAÑO S.; MARTINEZ ALFARO P.; MARTINEZ SANTOS P. (2005). **“FUNDAMENTOS DE HIDROGEOLOGÍA”**. Ediciones Mundi – Prensa, p 13-65. Madrid.
10. CONCHA R., CARLOTTO V., CARDENAS J. (2010) **“GEOLOGÍA Y GEODINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO Y FLUJOS DE DETRITOS QUE AFECTARON ZURITE-CUSCO”**, Resumen del Congreso de Geología 2010, p 1000-1003.

11. CHAVEZ, R. (1995) **“GEOLOGIA, ESTRATIGRAFIA Y TECTONICA DE LA REGION CALCA URUBAMBA”** Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, 147p
12. DAZA ALFARO M.; ESTUMBELO CONTRERAS E. (2008). **“ESTUDIO GEODINÁMICO Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS EN LA SUB CUENCA RIO BLANCO MOLLEPATA – LIMATAMBO”** Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, p 26-48.
13. DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL (2003). **“ESTUDIOS DE RIESGOS GEOLOGICOS DEL PERU – FRANJA Nº 3”**. Bol. Del INGEMMET, 273p.
14. QUISPE W. **EVALUACION GEOLOGICA, GEODINAMICA DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE LA CUENCA DEL CUSCO**. Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía.
15. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI). (2006). **“MANUAL BASICO PARA LA ESTIMACION DEL RIESGO”**, Lima – Perú
16. MANCO J. (2001) **“GESTION INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS”** Universidad Nacional Agraria de la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos de agua y tierra.
17. MAROCHO ORE T.; TAPE BUSTAMANTE H. (2006). **“DIAGNOSTICO INTEGRAL DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO-GEODINÁMICO DE LA MICROCUENCA DE CANCHAHUARAN – URCOS”** .Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, p 51-62.
18. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ANTA, CENTRO DE ESTUDIOS REGIONALES ANDINOS BARTOLOMÉ DE LAS CASAS (CBC), CONSEJO COMUNAL Y VECINAL (CCV) Y CONSEJO DE COORDINACIÓN LOCAL (CCL), (2006). **“PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE ANTA AL 2015”**, p 6-26.
19. OCHOA ZAPATA M. (2006), **“RIESGO Y VULNERABILIDAD DEL PARQUE ARQUEOLOGICO DE PISAQ”**, Tesis de Grado UNSAAC- Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía p. 85-110
20. OLIVERA SILVA A.; PORTILLO JORDAN E. (2005). **“EVALUACIÓN GEODINÁMICA, PELIGROS, RIESGO Y VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD**

**DE SICUANI Y SUS ALREDEDORES**". Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, p 9-18.

21. PEÑA LAUREANO F. (2002). **"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO POROSO CONSOLIDADO ENTRE SAYLLA Y CHOQUEPATA"**. Tesis de grado, UNSAAC – Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía, p 65-113.
22. PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIA PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (2009). **"ATLAS DE DEFORMACIONES CUATERNARIAS DE LOS ANDES"**. Resumen del Congreso de Geología 2010, p 190-195.
23. PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIA PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (2007). **"CONOZCAMOS LOS PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN ANDINA"**. Resumen del Congreso de Geología 2010, p 17-32.
24. PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIA PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (2007). **"MOVIMIENTOS EN MASA EN LA REGIÓN ANDINA: UNA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS"**. Resumen del Congreso de Geología 2010, p 3-46.
25. TINTA W. (2000) **"CRITERIOS DE CLASIFICACION GEOLOGICO-GEOTECNICO DE LOS DEPOSITOS CUATERNARIOS"**. Resumen del Congreso Peruano de Geología.

**ANEXOS**

## REGISTRO DE ESTACIONES METEOROLOGICAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
ESTACION:	PERAYOC			Lat.	13°13'S									
DISTRITO:	Cusco			Long.	71°57'0									
OBSERVACIONES:	Prec. Media mensual			Alt.	3365									
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1970	150.1	97.35	94.9	95.55	5.3	6	6.6	2.4	43.35	37.4	34.4	213.6	786.9	
1971	130	128.3	92.7	38.1	1.7	1.5	0.3	8.1	0	53.2	44.4	147.6	645.9	
1972	170	74.7	58.4	40.7	0.8	0	9.29	20.5	37.35	5.5	67.6	103	587.7	
1973	228.6	137.8	141.9	96.95	18.1	0	10.7	15.9	6.6	29.9	101.8	91.65	879.7	
1974	130.4	228.8	130	61.6	15.8	14.3	3.1	37	21.9	45.6	42.25	121.4	852.1	
1975	119.7	159.7	107.5	71	30.3	1.4	0	0.1	40.5	48.2	42.1	152.2	772.7	
1976	158.1	73.7	155.7	48.2	22.9	7.1	0.9	9	59	15.5	56.2	103	709.3	
1977	114.3	241.5	80.8	60.9	3.9	0.2	0.2	2.7	39.1	65.1	170.8	66.7	846.2	
1978	249.4	63.6	83.5	37.5	6.7	0	1	0	12.7	9.7	161.2	124.3	749.6	
1979	165	128.8	170.1	36.9	21.5	0	5.9	17.3	12.4	22.6	131.7	137.3	849.5	
1980	97.9	141.7	96.9	34.1	7.4	2.1	2.4	0.4	7.7	96.2	66.6	67.5	620.9	
1981	218.1	73	119.2	69.2	0.6	4.2	0	12.4	46.7	105	112.1	133.9	894.4	
1982	205.9	118.7	159.5	67.9	0	1.4	3.8	9.8	58	68	171.9	150.4	1015.3	
1983	154.3	96.4	60.8	23.8	8.6	36.05	0.7	0	2.3	37.5	60.35	172.4	653.2	
1984	219.9	172.8	88.6	82.1	0.2	6.8	0.2	19.3	21.8	126.1	82.6	110.2	930.5	
1985	121.9	143	123.5	64.2	19.1	17.9	3.1	6.1	39.1	70.3	128.1	146.4	882.7	
1986	103.2	114.1	154.8	95.4	6.8	0	3.3	10.6	10.8	35.6	115.1	87.5	737.2	
1987	311.6	106	81.2	35.1	5.9	13.6	14.2	0	13	60.5	121.2	164.9	927.2	
1988	228.8	144.5	250.5	40.9	4	0	0	0	19.4	37.9	57.7	154.5	938.2	
1989	213.4	147.4	198.5	54.7	4.1	14.9	0	6.3	15.5	92.8	72.4	72.5	892.5	
1990	309.4	89.4	62.5	105.9	11.8	33.7	0	6.8	18.3	105.9	109.1	105.7	958.5	
1991	117.1	236.4	152	44.8	14.1	7.9	1	0	31.6	116.6	104.8	116.2	942.5	
1992	154.8	142.1	95.6	18.5	1	6.5	21.5	33.5	9.1	68.7	124.9	66.6	742.8	
1993	251.9	123.2	93.2	34.5	3.4	0	1.8	22.7	6.9	97.4	100.9	220	955.9	
1994	196.4	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165	1020.3	
1995	127	90.6	137.8	26.1	1.7	0.3	3.1	0	52	20.1	27.5	124	610.2	
1996	169	87.4	48.6	28.9	9.7	0	0	9.8	16	61.2	66	168	664.6	
1997	137.2	104.7	145.7	70.9	3.2	0	0	11.1	13.4	35.5	138.4	178.7	838.8	
1998	155.3	163.2	54.3	34.8	3.8	3.4	0	6.2	2.2	84.9	70.6	69.4	648.1	
1999	153.8	69.3	90.1	42.5	10.3	6	0	11.3	50.6	24.6	48.5	101.1	608.1	
2000	163.8	68.5	66.2	9.6	3.1	2.7	1.8	5.9	6.5	49	50.2	76.1	503.4	
2001	295	155.4	136.2	25.7	5.9	0	22.4	11.9	19.2	69.7	73.2	102.9	917.5	
2002	185	179.8	203.7	25.4	6.9	2.2	32.5	6	14.4	73.8	114.7	129	973.4	
2003	216.6	156.9	153.2	95.3	2.8	7.1	0	13.1	9.8	23.5	38.8	127.8	844.9	
2004	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	34.9	51.7	94.2	729	
2005	118.8	122.4	108.5	35.7	1.1	0	1	3.1	6.5	36.9	66.6	57.8	558.4	
2006	196.1	122.3	126.5	73.9	0	6.8	0	5.5	18.6	77.8	67.4	162.9	857.83	
2007	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	34.9	51.7	94.2	729	
MEDIA	175.1	133.4	118.1	49.0	7.5	5.9	5.5	9.1	23.7	55.3	83.0	121.5	787.0	

Cuadro 4.1: Registro de precipitación de la estación meteorológica de Perayoc. Fuente SENAMHI

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA													
ESTACION:		<b>KAYRA</b>			Lat. 13°25'S								
DISTRITO:		San Jerónimo			Long. 71°54'0								
OBSERVACIONES:		Prec. Media mensual			Alt. 3219								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	190.6	121.5	132.5	86.4	2.3	1.0	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4	855.2
1971	128.9	161.6	83.6	40.0	1.5	0.1	0.0	5.7	3.5	55.7	51.0	127.5	659.1
1972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0.0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2	553.5
1973	221.2	120.5	99.6	75.2	14.0	0.0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5	816.3
1974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1.0	34.6	5.9	43.3	60.9	108.0	681.7
1975	124.7	131.0	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51.0	170.1	721.6
1976	119.6	83.1	123.1	42.9	13.0	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8	560.3
1977	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0.0	4.4	0.0	29.9	65.0	71.5	78.0	613.1
1978	175.4	124.7	88.5	48.7	11.4	0.0	3.4	0.0	13.7	12.3	86.7	118.0	682.8
1979	101.1	131.6	108.8	46.8	6.2	0.0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8	600.8
1980	106.2	126.4	135.0	23.2	3.7	0.0	5.3	0.6	12.6	62.9	60.2	83.1	619.2
1981	225.4	80.8	124.4	57.2	1.8	3.9	0.0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3	923.2
1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0.0	9.2	3.4	4.9	14.0	37.9	122.5	98.6	786.8
1983	128.4	84.0	54.5	23.5	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26.0	44.3	100.5	477.7
1984	198.6	142.4	71.0	82.8	0.0	1.3	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	103.1	800.1
1985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0.0	43.3	60.8	116.5	122.4	727.0
1986	76.4	86.2	125.7	65.5	6.2	0.0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7	563.1
1987	223.3	88.4	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0.0	8.2	26.5	101.8	107.6	630.1
1988	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0.0	0.0	0.0	9.9	36.2	47.6	113.7	735.5
1989	151.4	126.8	119.3	39.6	9.4	9.1	0.0	6.1	30.7	48.7	60.7	88.5	690.3
1990	168.0	90.4	60.7	47.4	7.5	31.8	0.0	5.8	12.8	73.7	93.8	66.5	658.4
1991	90.1	163.6	105.2	49.6	11.0	5.1	1.5	0.0	21.4	49.3	72.2	112.0	681.0
1992	107.1	102.4	104.0	14.9	0.0	19.4	0.0	21.4	8.0	50.7	117.4	57.0	602.3
1993	206.7	104.5	76.2	19.6	46.6	0.0	2.7	6.9	18.0	46.2	111.9	201.5	840.8
1994	177.2	163.9	173.9	45.5	11.8	0.0	0.0	0.0	25.7	40.2	40.5	116.6	795.3
1995	122.0	94.8	94.4	17.8	0.0	0.0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	559.1
1996	131.9	98.0	70.5	32.3	11.0	0.0	0.0	6.3	19.6	58.4	49.0	133.2	610.2
1997	123.3	127.7	104.8	31.0	4.8	0.0	0.0	7.1	12.3	44.4	200.4	148.4	804.2
1998	116.9	176.1	22.6	31.0	1.6	1.9	0.0	1.6	6.8	38.3	45.2	58.9	500.9
1999	90.2	91.5	92.0	42.8	1.3	3.4	1.0	0.0	43.1	18.4	39.7	119.5	542.9
2000	197.4	141.5	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	6.6	10.7	49.3	27.0	82.0	656.0
2001	79.3	194.7	190.4	36.4	11.5	0.0	17.4	10.2	20.1	19.9	92.6	89.4	761.9
2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.5	10.3	79.5	97.8	132.4	822.7
2003	220.0	137.0	113.0	52.0	2.0	8.0	2.0	1.0	8.0	58.0	21.0	90.0	712.0
2004	181.0	70.0	47.0	50.0	7.0	48.0	0.0	0.0	9.0	44.0	104.0	73.0	633.0
2005	115.7	115.3	94.9	34.4	4.5	0.9	0.9	1.7	10.5	36.9	62.3	65.7	543.7
2006	154.3	115.3	104.5	57.1	4.0	5.8	0.2	3.4	17.0	58.3	62.8	131.5	714.1
2007	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.5	10.3	79.5	97.8	132.4	822.7
MEDIA	142.9	121.1	100.6	42.3	7.6	4.8	4.3	5.7	19.0	47.6	72.8	106.2	675.0

Cuadro 4.2: Registro de precipitación de la estación meteorológica de Kayra. Fuente SENAMHI

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA													
ESTACION:		ZURITE				Lat.		13°27'S					
DISTRITO:		Anta				Long.		71°16'0					
OBSERVACIONES:		Prec. Media mensual				Alt.		3391					
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	168.1	109.7	66.1	86.7	2.0	1.2	10.2	1.3	40.3	70.0	62.4	177.6	795.6
1971	167.2	181.1	76.7	36.0	2.4	0.3	0.0	17.3	1.0	82.1	68.3	137.4	769.8
1972	171.0	93.9	151.4	30.4	4.8	0.0	9.9	23.0	25.2	40.9	50.9	146.1	747.5
1973	305.5	177.6	135.8	75.0	12.1	3.0	19.8	20.6	41.1	61.7	106.5	115.3	1074.0
1974	207.9	222.3	125.4	40.2	0.6	15.0	4.3	48.7	9.3	60.8	92.7	86.5	913.7
1975	155.6	188.0	147.0	67.2	22.1	1.2	1.3	1.0	15.3	75.0	60.9	255.0	989.6
1976	175.6	146.0	168.2	56.8	10.8	7.4	0.0	7.2	34.0	12.5	49.7	80.3	748.5
1977	122.4	195.8	174.5	46.8	1.3	0.0	2.0	0.0	22.4	75.1	141.8	151.0	933.1
1978	249.4	60.9	106.8	46.2	16.7	1.4	0.0	0.0	18.6	30.0	130.6	117.7	778.3
1979	100.9	134.2	123.2	32.2	12.9	0.0	1.0	8.0	11.0	31.4	92.8	105.8	653.4
1980	127.4	155.4	117.9	35.2	4.5	1.2	4.7	3.4	19.2	81.5	84.0	107.2	741.6
1981	248.9	97.2	120.7	59.4	2.8	2.1	1.8	9.5	38.7	60.4	101.8	130.1	873.4
1982	219.9	89.7	125.0	43.5	0.0	2.3	2.7	17.4	23.1	53.4	119.3	82.7	779.0
1983	150.0	117.1	139.4	35.5	4.2	14.9	2.7	3.8	17.2	46.3	80.4	125.9	737.2
1984	221.6	181.8	135.0	77.6	1.2	3.1	2.1	18.6	24.4	99.4	93.3	128.8	986.7
1985	150.7	156.5	134.1	42.3	15.0	7.6	5.5	2.5	30.8	66.0	119.8	149.6	880.5
1986	97.0	132.1	120.4	65.3	6.7	0.4	5.8	8.4	20.3	45.1	112.2	128.3	742.0
1987	246.8	125.2	140.9	28.1	3.0	5.9	18.8	2.5	21.1	60.1	115.8	133.6	901.7
1988	186.1	157.8	109.5	96.1	5.3	0.4	1.8	2.5	23.5	46.5	78.8	140.2	848.5
1989	173.5	160.3	122.1	46.9	9.5	6.4	1.8	11.1	22.1	79.5	87.4	113.0	833.5
1990	190.4	111.1	137.7	52.4	7.8	13.9	1.8	10.7	23.1	87.3	108.7	89.3	834.4
1991	111.0	235.7	125.8	54.0	11.0	3.6	3.0	2.5	28.0	93.8	106.2	138.3	912.9
1992	128.3	155.8	126.2	29.3	1.2	3.0	27.5	32.6	19.7	65.0	117.9	79.1	785.5
1993	229.8	139.8	133.6	32.7	42.6	0.4	4.0	12.2	18.9	82.2	103.9	234.8	1034.9
1994	199.8	222.6	107.5	51.1	11.7	0.4	1.8	2.5	24.1	50.5	82.6	143.3	897.8
1995	143.5	112.1	128.7	31.4	1.2	0.5	5.5	4.2	35.6	35.8	61.3	128.2	688.1
1996	153.6	109.4	135.1	41.7	11.0	0.4	1.8	11.4	22.3	60.5	83.7	161.2	792.0
1997	144.8	124.1	125.9	40.8	5.4	0.4	1.8	12.5	21.3	45.1	125.8	177.6	825.5
1998	138.3	173.7	147.9	40.8	2.6	1.8	1.8	4.8	17.1	74.7	86.3	81.1	770.9
1999	111.1	94.1	129.4	49.2	2.3	2.8	1.8	2.5	35.1	38.5	73.5	146.4	686.7
2000	220.4	93.4	122.0	26.5	3.5	1.5	4.0	11.8	18.7	53.2	74.5	106.0	735.4
2001	100.0	167.0	103.1	44.6	11.4	0.4	28.6	16.9	23.4	65.6	87.8	114.0	762.8
2002	156.2	187.7	123.8	34.1	15.6	1.3	40.6	7.5	21.7	68.1	112.0	160.3	928.8
2003	243.4	168.3	123.8	55.7	3.0	3.2	1.8	3.9	20.0	37.9	67.8	114.6	843.4
2004	203.6	161.6	141.4	54.3	7.4	8.7	13.3	2.5	28.4	44.7	75.3	96.3	837.6
2005	137.1	139.1	128.6	43.2	5.2	0.4	3.0	5.0	18.7	45.9	84.0	88.4	698.5
2006	176.5	139.0	126.0	59.3	4.7	3.1	1.8	7.4	23.2	70.5	84.5	159.3	855.3
2007	220.4	93.4	122.0	26.5	3.5	1.5	4.0	11.8	18.7	53.2	74.5	106.0	735.4
MEDIA	168.6	146.1	127.0	47.4	7.6	3.0	7.6	9.2	23.8	59.8	92.5	129.3	822.0

Cuadro 4.3: Registro de precipitación de la estación meteorológica de Zurite. Fuente SENAMHI

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA													
ESTACION:	ANTA			Lat.	13°28'21"S								
DISTRITO:	Anta			Long.	72°13'09"O								
OBSERVACIONES:	Prec. Media mensual			Alt.	3340								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	163.5	126.4	95.6	77.8	1.4	0.0	3.0	0.0	4.6	28.0	109.6	110.5	720.4
1971	209.4	159.8	151.6	94.6	36.2	1.0	0.1	9.8	9.8	44.6	32.4	80.4	829.7
1972	149.5	207.2	52.2	150.7	42.6	0.6	0.0	12.2	27.6	1.4	66.4	71.8	782.2
1973	219.6	191.2	107.2	72.6	12.0	2.8	10.4	8.7	17.2	19.8	12.6	31.7	705.8
1974	146.4	186.7	143.0	60.8	9.2	17.8	0.0	41.2	10.8	26.0	101.2	118.8	861.9
1975	107.6	198.2	89.2	79.5	13.0	1.4	0.0	10.0	27.0	21.0	38.4	101.2	686.5
1976	44.4	112.1	138.8	52.4	11.0	10.4	27.0	0.0	29.0	28.0	51.0	207.2	711.3
1977	118.4	127.3	113.3	51.0	4.2	0.0	0.0	5.0	20.4	9.2	48.9	90.0	587.7
1978	172.2	93.2	142.8	43.5	13.2	8.2	0.0	0.0	16.5	84.4	175.0	125.1	874.1
1979	80.0	123.0	140.0	49.4	8.8	0.8	8.6	6.6	12.6	7.4	103.0	184.5	724.7
1980	78.0	116.0	154.6	15.4	4.8	0.0	1.0	2.2	2.4	22.0	95.6	93.6	585.6
1981	156.5	101.6	148.5	113.5	5.7	2.0	0.0	10.4	24.5	76.8	83.6	93.8	816.9
1982	236.7	140.8	153.0	50.6	10.6	11.3	8.2	0.5	82.1	86.3	78.9	105.7	964.7
1983	130.0	20.7	49.3	99.7	8.6	0.0	1.5	0.3	3.5	45.3	139.3	36.7	534.9
1984	169.0	209.2	63.2	109.6	7.6	0.3	0.0	5.8	0.0	44.7	67.8	130.2	807.4
1985	79.0	83.0	57.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	115.9	65.0	64.5	544.4
1986	100.1	152.1	116.3	44.8	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	52.8	128.7	137.7	751.2
1987	176.1	134.2	73.2	0.0	0.0	0.0	33.4	0.0	0.0	24.8	62.5	80.8	585.0
1988	223.3	127.9	241.5	93.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.2	100.6	165.0	977.1
1989	191.3	97.6	136.4	24.6	26.3	0.0	0.0	4.4	6.1	8.1	43.0	107.3	645.1
1990	129.8	59.3	24.6	3.2	0.0	36.6	0.0	16.6	15.0	24.2	50.0	34.9	394.2
1991	53.9	180.3	123.0	27.5	0.0	23.3	0.0	0.0	4.4	122.4	85.0	36.6	656.4
1992	130.6	136.0	40.8	18.8	0.0	16.8	0.0	9.0	2.8	44.6	100.9	69.0	569.3
1993	145.1	428.7	106.4	35.9	6.8	0.0	0.0	22.8	58.4	64.8	132.1	38.8	1039.8
1994	588.0	379.2	398.8	49.1	32.5	0.0	0.0	0.3	39.5	192.4	218.4	566.6	2464.8
1995	194.7	47.5	224.9	19.9	1.8	5.2	0.6	0.0	22.8	81.2	186.0	255.7	1040.3
1996	414.5	359.5	122.8	29.2	4.8	0.6	0.2	13.3	18.8	15.6	94.6	313.7	1387.6
1997	159.0	126.9	158.9	25.9	8.8	0.0	0.0	15.5	7.1	44.0	87.3	234.0	867.4
1998	163.7	128.6	131.6	25.2	0.0	3.4	0.0	0.3	11.8	7.1	165.3	360.8	997.8
1999	294.2	331.0	193.2	70.3	0.8	0.8	0.2	6.2	66.1	11.8	65.0	72.4	1112.0
2000	201.9	138.5	79.0	31.1	8.7	5.2	3.5	7.2	9.1	46.5	100.4	137.8	768.8
2001	117.0	163.4	144.5	48.9	9.8	1.3	18.2	10.1	16.4	49.7	90.5	135.7	805.5
2002	156.7	170.4	207.5	38.6	10.5	3.0	27.9	4.6	13.7	50.4	89.8	123.9	896.8
2003	218.2	163.9	160.3	59.8	8.6	6.7	2.8	2.6	11.0	42.6	101.3	135.6	913.2
2004	190.1	161.6	100.8	58.4	9.2	33.8	0.8	1.7	24.2	44.3	88.8	140.2	854.1
2005	130.0	154.0	118.6	45.0	8.5	1.3	1.5	3.4	9.1	44.6	95.8	146.6	758.3
2006	175.7	153.9	135.4	68.1	8.3	5.3	0.8	4.6	16.1	51.0	95.7	121.6	836.4
2007	163.7	128.6	131.6	25.2	0.0	3.4	0.0	0.3	11.8	7.1	165.3	360.8	997.8
MEDIA	164.0	156.5	129.4	52.1	9.0	5.1	5.0	6.1	18.0	46.5	95.4	137.1	824.3

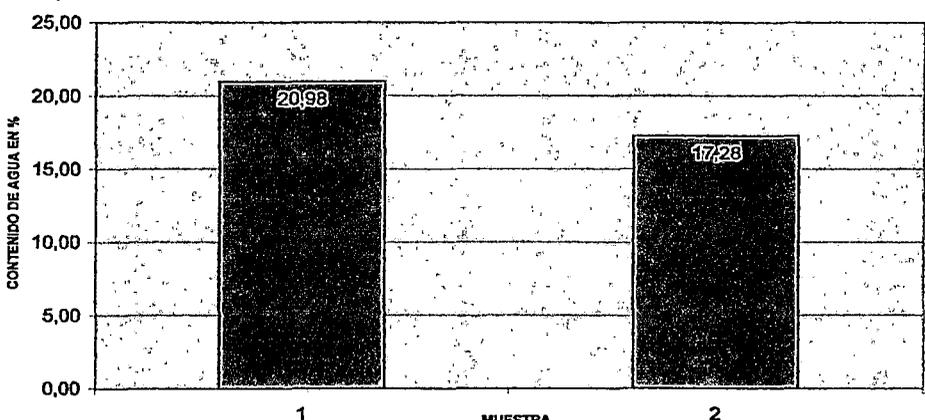
Cuadro 4.4: Registro de precipitación de la estación meteorológica de Anta - Ancachuro. Fuente SENAMHI

## ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	CODIGO : _____
	NTP-339.127 - ASTM-D2216	REVISION : _____
		PAGINA : 1 de 6
Proyecto : <b>"DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO - GEODINAMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO - ANTA"</b>	Solicita : <b>ERY ORTIZ DE ORUE GOMEZ / MICHAEL CONTRERAS APARICIO</b>	
Localizacion : <b>Chchimayo</b> Distrito : <b>CACHIMAYO</b> Provincia : <b>ANTA</b> Region : <b>CUSCO</b>	Fecha : <b>Junio 2,010</b> Motivo : <b>Estudio Geotecnico</b> Resp. Lab.: <b>M.O.P.</b> Esp. Geot.: <b>A.A.A.</b>	
MUESTRA : <b>1</b> Pozo : <b>C-01</b> Estrato : <b>E-03</b> PROF. (m.): <b>3,00</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Peso de la Capsula (gr)	24,25	23,20
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	38,26	39,76
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)	35,83	37,32
Peso del Suelo Seco (gr)	11,58	14,12
Contenido de Humedad (w)	20,98	17,28
		<b>19,13</b>

### CONTENIDO DE AGUA



Muestra	Contenido de Agua (%)
1	20,98
2	17,28



Abelardo Abarca Ancoori  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP 63816  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Laboratorio Especialista en Geotecnia  
 RUC 20522895759 - Av. BRASIL CA JIRRA CHISPICANCHIS CUSCO - 241670 - www.geotestnet.com

Grafico 5.1: Calculo de contenido de humedad para la Formación San Sebastián.



### CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP-339.127 - ASTM-D2216

CODIGO : \_\_\_\_\_  
REVISION : \_\_\_\_\_  
PAGINA : 2 de 6

Proyecto : "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO - GEODINAMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO - ANTA"

Solicita : ERV ORTIZ DE ORUE GOMEZ / MICHAEL CONTRERAS APARICIO

Localizacion : Chachimayo  
Distrito : CACHIMAYO  
Provincia : ANTA  
Region : CUSCO

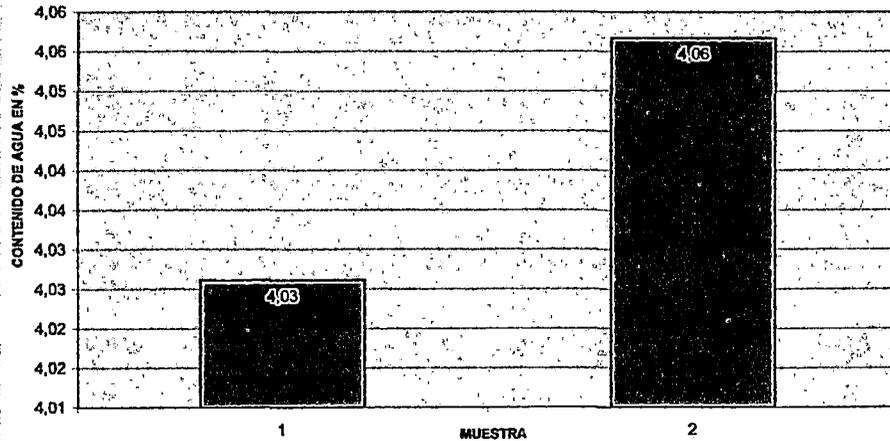
Fecha : Junio 2,010  
Motivo : Estudio Geotecnico  
Resp. Lab. : M.O.P.  
Esp. Geol. : A.A.A.

MUESTRA : 2  
Pozo : C-02 Estrato : E-03

PROF. (m): 3,00

MUESTRA	1	2
Peso de la Capsula (gr)	22,34	22,71
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	43,01	44,00
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)	42,21	43,17
Peso del Suelo Seco (gr)	19,87	20,46
Contenido de Humedad (w)	4,03	4,06
		4,04

### CONTENIDO DE AGUA



*(Signature)*  
 Abelardo Abarca Andori  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP 63816  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Laboratorio

Especialista en Geotecnia

RTIC 20527835750 - Av BRASIL CA IIRB CUISPICANCHIS CUSCO - 24142n - www.geotestnet.com

Gráfico 5.2: Calculo de contenido de humedad para la Formación Maras.



### CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP-339.127 - ASTM-D2216

CODIGO: \_\_\_\_\_

REVISION: \_\_\_\_\_

PAGINA: 1 de 2

Proyecto : "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO - GEODINAMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO - ANTA"	Solicita : <u>Erv Ortiz de Orue Gomez - Michael Contreras Aparicio</u>
Localizacion : <u>ANTA</u>	Fecha : <u>Octubre 2010</u>
Distrito : <u>ANTA</u>	Motivo : <u>Estudio Geotecnico</u>
Provincia : <u>ANTA</u>	Resp. Lab.: <u>M.O.P.</u>
Region : <u>CUSCO</u>	Esp. Geol.: <u>AAA.</u>

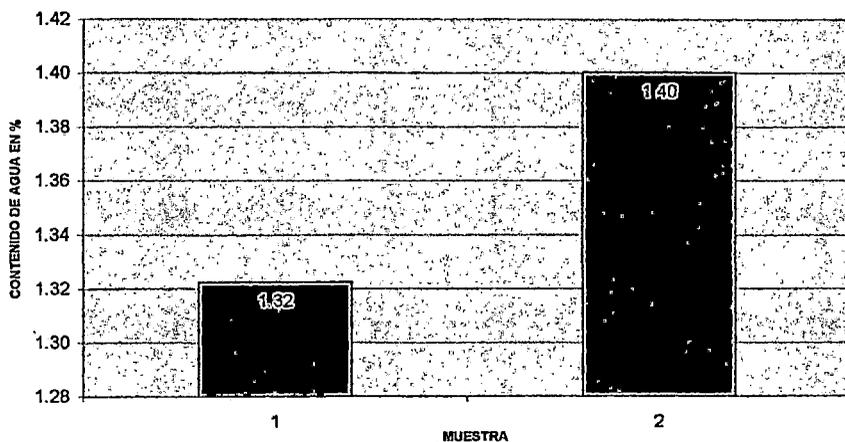
MUESTRA: 1

Pozo C-03

PROF. (m): 0.00

MUESTRA	1	2
Peso de la Capsula (gr)	47.77	46.54
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	340.43	331.12
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (gr)	336.61	327.19
Peso del Suelo Seco (gr)	288.84	280.65
Contenido de Humedad (w)	1.32	1.40
		<b>1.36</b>

### CONTENIDO DE AGUA



*Marta Ortega Pineda*  
 Ingeniero Civil  
 Laboratorio

*Abelardo Abitea Ancori*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP 63516  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Especialista en Geotecnia

Gráfico 5.3: Calculo de contenido de humedad para la Formación Anta.



CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP-339.127 - ASTM-D2216

CODIGO :  
REVISION :  
PAGINA : 2 de 2

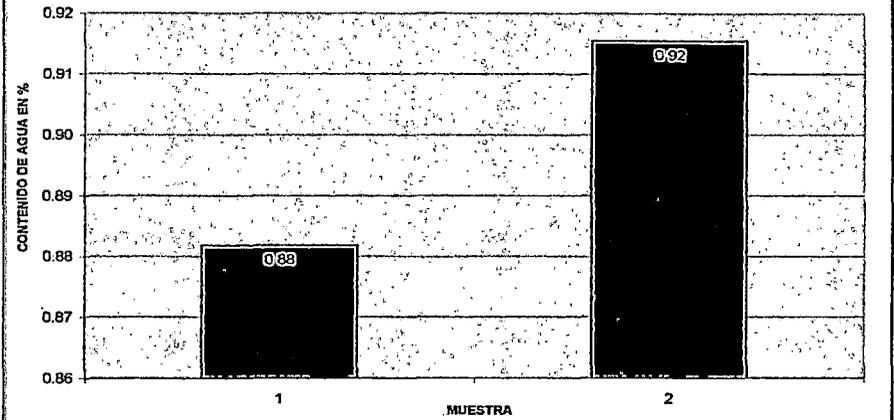
Proyecto : "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO - GEODINAMICO DE LA MICROCUENCA CACHIMAYO - ANTA"  
 Localizacion : ANTA  
 Distrito : ANTA  
 Provincia : ANTA  
 Region : CUSCO

Solicita : Erv Ortiz de Orue Gomez - Michael Contreras Aparicio  
 Fecha : Octubre 2, 2010  
 Motivo : Estudio Geotecnico  
 Resp. Lab.: M.O.P.  
 Esp. Geot.: A.A.A.

MUESTRA : 2  
 Pozo : C-04 PROF. (m.): 0.00

MUESTRA	1	2
Peso de la Capsula (gr)	48.05	47.23
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (gr)	336.34	316.20
Peso de la Capsula+Suelo Seco (gr)	333.82	313.76
Peso del Suelo Seco (gr)	285.77	266.53
Contenido de Humedad (w)	0.88	0.92
		<b>0.90</b>

CONTENIDO DE AGUA



*Manolo Ortega Pincha*  
 Ingeniero Civil  
 Laboratorio

*Abelardo Abánca Ancofi*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP 63816  
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA  
 Especialista en Geotecnia

Gráfico 5.4: Calculo de contenido de humedad para la Formación Kayra

# ANALISIS FISICOQUIMICOS DE MUESTRAS DE AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Teléfono - fax - modem: 224831

**UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA  
INFORME DE ANALISIS**

Nº 1090-10-LAQ



**SOLICITANTE**

MICHAEL CONTRERAS APARICIO

ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GOMEZ

Tesis: "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO GEODINAMICO DE LA MICRO CUENCA  
DE CACHIMAYO-ANTA"

**MUESTRA**

Agua: Manante MACHAYBAMBA

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA**

8/23/08/2010

**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO**

pH	7.78
C.E. uS/cm	948.00
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	568.80
Calcio ppm	182.40
Magnesio ppm	23.92
Sodio ppm	95.20
Potasio ppm	20.60
Cloruros ppm	230.80
Sulfatos ppm	168.20
Bicarbonatos ppm	217.60
Carbonatos ppm	0.00
Hierro ppm	0.162
Sólidos disueltos ppm	1033.40

Cusco, 27 de Agosto 2010



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
Unidad de Prestación de Servicios Analíticos

Microquímica Mercurio Artificial  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
DE ANALISIS QUIMICO

Grafico 5.5: Calculo del Análisis Físicoquímico del Aforo Machaybamba.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
 Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
 Teléfono - fax - modem: 224831

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA  
 INFORME DE ANALISIS Nº1091-10-LAQ

SOLICITANTE

MICHAEL CONTRERAS APARICIO

ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GOMEZ

Tesis: "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO GEODINAMICO DE LA MICRO CUENCA  
 DE CACHIMAYO-ANTA"

MUESTRA

Agua: Manante QUINSAPUJIO

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA

C/23/08/2010

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO

pH	7.55
C.E. uS/cm	152.00
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	100.52
Calcio ppm	29.64
Magnesio ppm	5.52
Sodio ppm	16.10
Potasio ppm	2.90
Cloruros ppm	9.60
Sulfatos ppm	28.20
Bicarbonatos ppm	106.60
Carbonatos ppm	0.00
Hierro ppm	0.094
Sólidos disueltos ppm	196.20

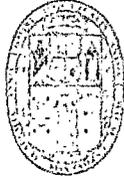
Cusco, 27 de Agosto 2010



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios Analíticos

Melquedes Herrera Arce  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
 DE ANALISIS QUIMICO

Gráfico 5.6: Cálculo del Análisis Físicoquímico del Aforo Quinsapujio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
 Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
 Teléfono - fax - modem: 224831

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA  
 INFORME DE ANALISIS

Nº1093-10-LAQ



SOLICITANTE

MICHAEL CONTRERAS APARICIO

ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GOMEZ

Tesis: "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO GEODINAMICO DE LA MICRO CUENCA  
 DE CACHIMAYO-ANTA"

MUESTRA

Agua: Manante ASCAPUJIO

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA

C/23/08/2010

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO

ph	8.25
C.E. uS/cm	236.00
Dureza ppa CaCO <sub>3</sub>	158.10
Calcio ppm	45.60
Magnesio ppm	9.66
Sodio ppm	19.40
Potasio ppm	3.70
Cloruros ppm	18.90
Sulfatos ppm	49.60
Bicarbonatos ppm	142.70
Hierro ppm	0.112
Sólidos disueltos ppm	268.30

Cusco, 27 de Agosto 2010

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas  
 Laboratorio de Análisis Químico  
 Ing. Rigoberto Herrera Arística  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

Grafico 5.7: Calculo del Análisis Fisicoquímico del Aforo Ascapujio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
 Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
 Teléfono - fax - modem: 224831

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA  
 INFORME DE ANALISIS Nº1092-10-LAQ



SOLICITANTE

MICHAEL CONTRERAS APARICIO

ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GOMEZ

Tesis: "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO GEODINAMICO DE LA MICRO CUENCA DE CACHIMAYO-ANTA"

MUESTRA

Agua: Manante AGUA DULCE DE CHACAS

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA

C/23/08/2010

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO

=====

pH	7.30
C.E. uS/cm	288.00
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	184.30
Calcio ppm	57.00
Magnesio ppm	8.74
Sodio ppm	20.70
Potasio ppm	3.46
Cloruros ppm	25.80
Sulfatos ppm	55.90
Bicarbonatos ppm	156.40
Carbonatos ppm	0.00
Hierro ppm	0.108
Sólidos disueltos ppm	312.80

=====

Cusco, 27 de Agosto 2010

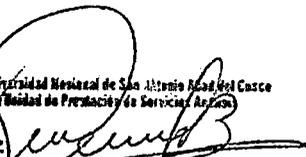
  
 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios Analíticos  
 Patricia Herrera Arístegui  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

Grafico 5.8: Calculo del análisis fisicoquímico del aforo Agua Dulce de Chaca.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Teléfono - fax - modem: 224831

### UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA INFORME DE ANALISIS

Nº1152-10-LAQ



#### SOLICITANTE

MICHAEL CONTRERAS APARICIO

ERY ALAIN ORTIZ DE ORUE GCMEZ

Tesis: "DIAGNOSTICO HIDROGEOLOGICO GEODINAMICO DE LA MICRO  
CUENCA DE CACHIMAYO ANTA"

#### MUESTRA

Agua: Manante SOCOMARCA

#### FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA

C/08/09/2010

#### RESULTADO ANALISIS FISICQUIMICO

pH	7.95
C.E. uS/cm	262.00
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	172.90
Calcio ppm	57.80
Magnesio ppm	5.79
Sodio ppm	15.40
Potasio ppm	4.20
Cloruros ppm	17.70
Sulfatos ppm	61.40
Bicarbonatos ppm	135.70
Carbonatos ppm	0.00
Hierro ppm	0.08
Boro ppm	0.02
Sólidos disueltos ppm	300.20

Cusco, 10 de Setiembre 2010



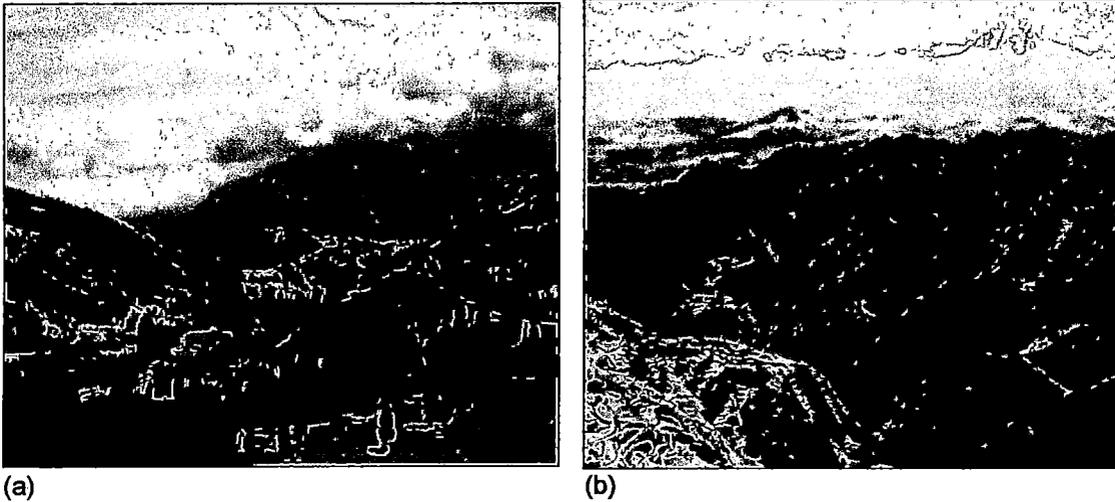
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
Unidad de Prestación de Servicios Analíticos

*Michael Contreras Aparicio*  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
DE ANALISIS QUIMICO

Grafico 5.9: Calculo del análisis fisicoquímico del aforo Socomarca.

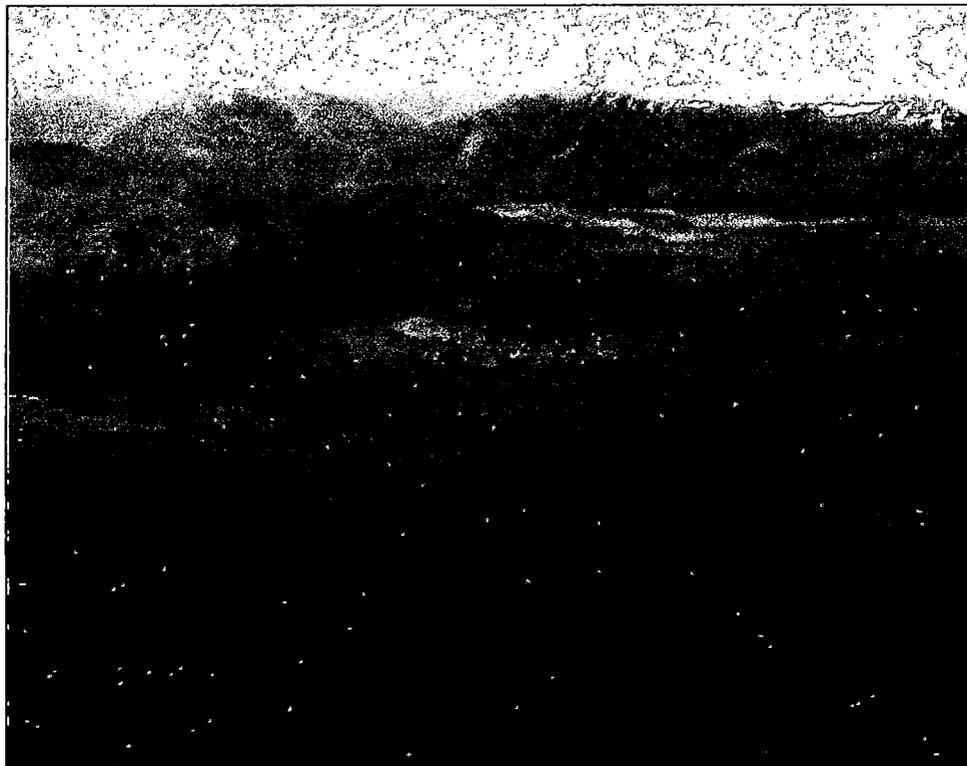
## PANEL DE IMÁGENES

**Figura. 1:**



**Análisis de pendientes:** (a) Pendientes poco empinadas (vista al NW); (b) Pendientes muy empinadas (vista al N, Quebrada Suaray).

**Figura.2:**



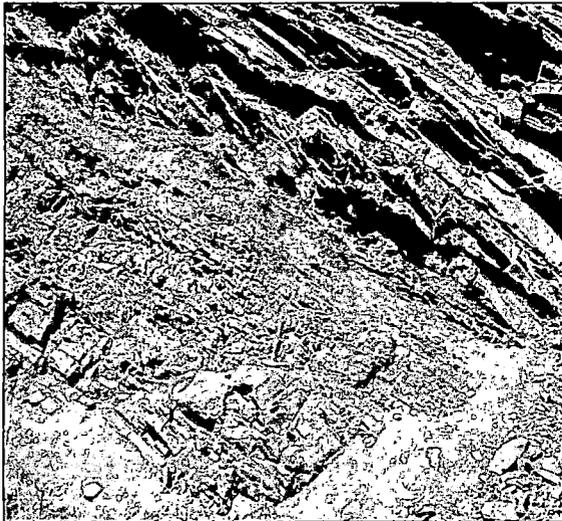
**Geomorfología regional:** Vista panorámica de las principales unidades geomorfológicas de la microcuenca Cachimayo (vista al N).

**Figura. 3:**

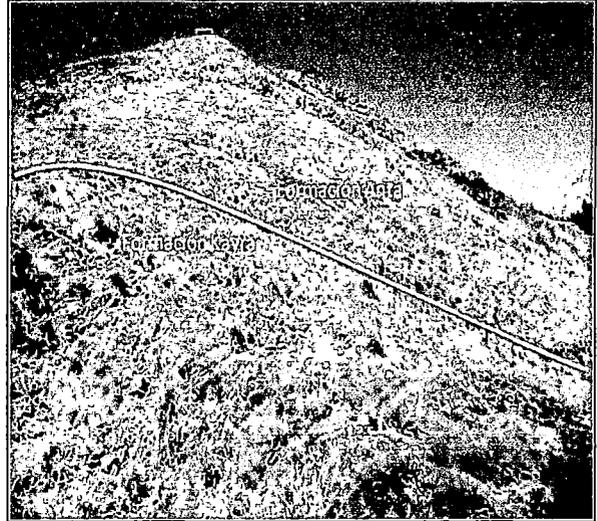


**Formación Maras:** Afloramiento caótico de lutitas, calizas y yesos.

**Figura. 4:**



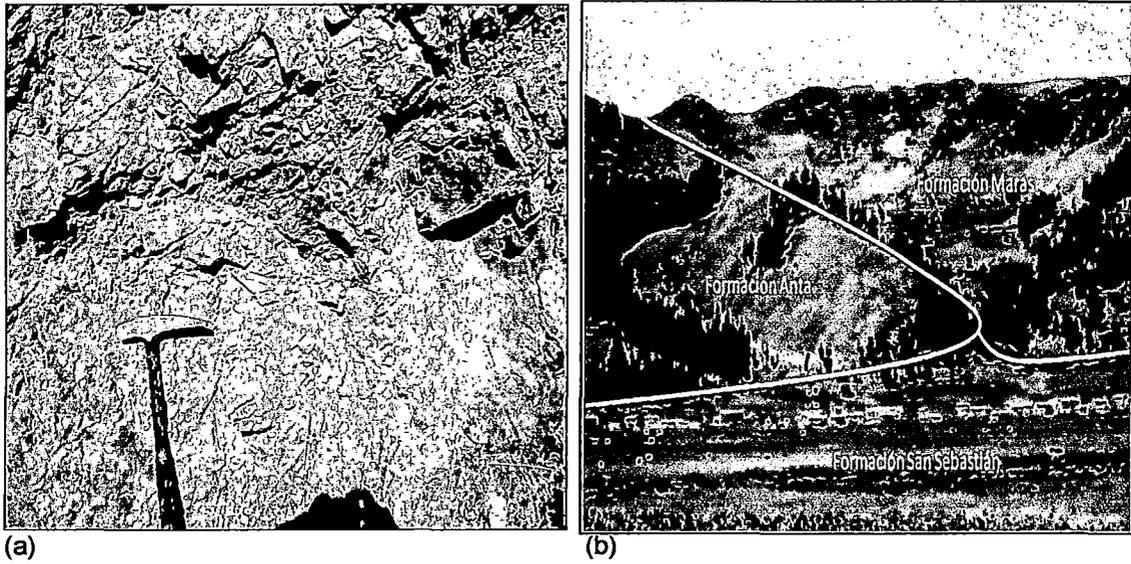
(a)



(b)

**Formación Kayra:** (a) Estratificación de areniscas y lutitas (corte de carretera, Pucyura);  
(b) Contacto entre la Formación Kayra y la Formación Anta (vista al E, C° Emillay).

**Figura. 5:**



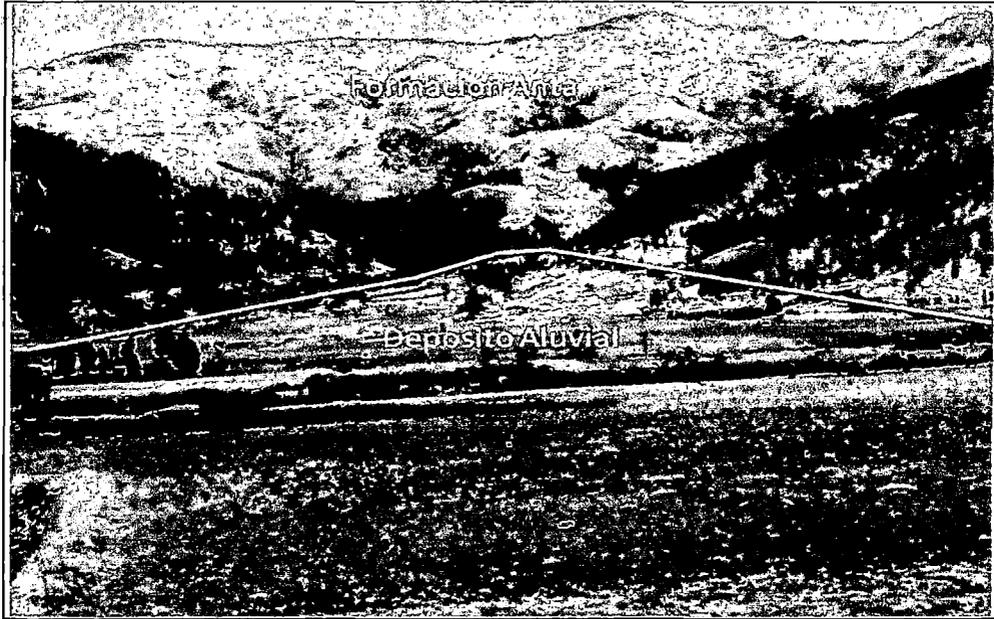
**Formación Anta:** (a) Conglomerados con clastos volcánicos; (b) Contacto entre las Formaciones Maras, Anta y San Sebastián, (vista al N, C° Acahuaylly).

**Figura. 6:**



**Volcanico Tacaza:** Volcanico piroclastico con bancos de conglomerados de color rosado y matriz tufacea.

**Figura. 7:**



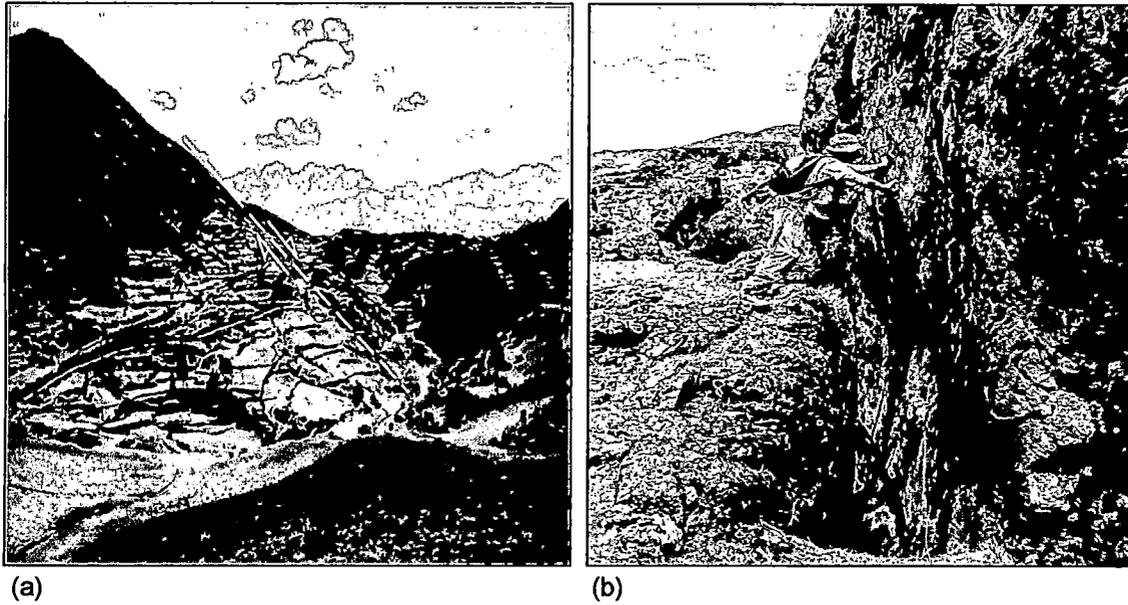
**Deposito aluvial:** Contacto entre la Formación Anta y el depósito aluvial, (vista al S, Q. Yanarasquillo).

**Figura. 8:**



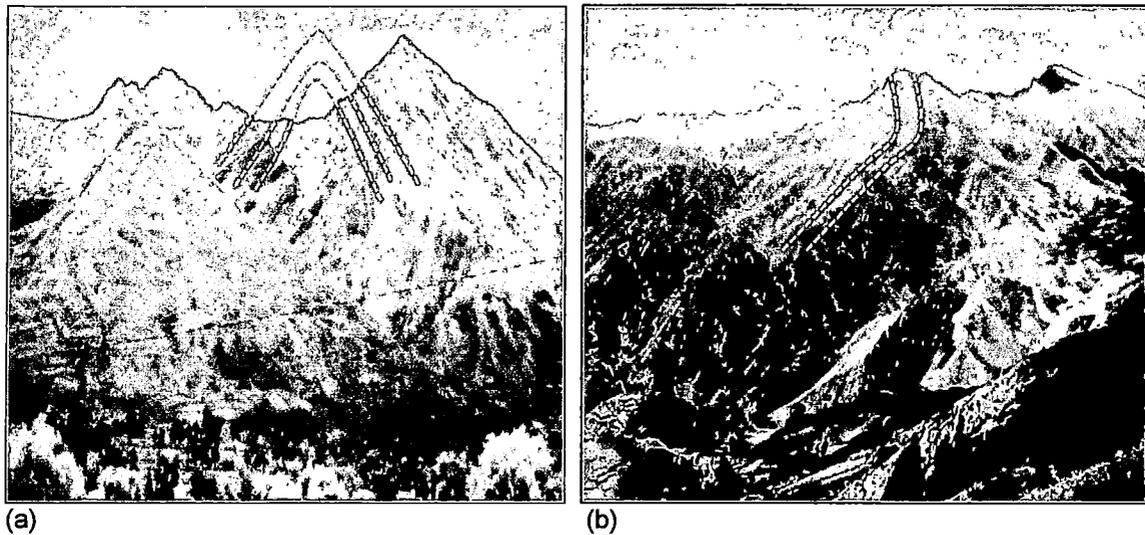
**Roca intrusiva:** Cuarzomonzodiorita de color verde con textura granular fino con fenocristales de plagioclasa alteradas a sericita y epidota.

**Figura. 9:**



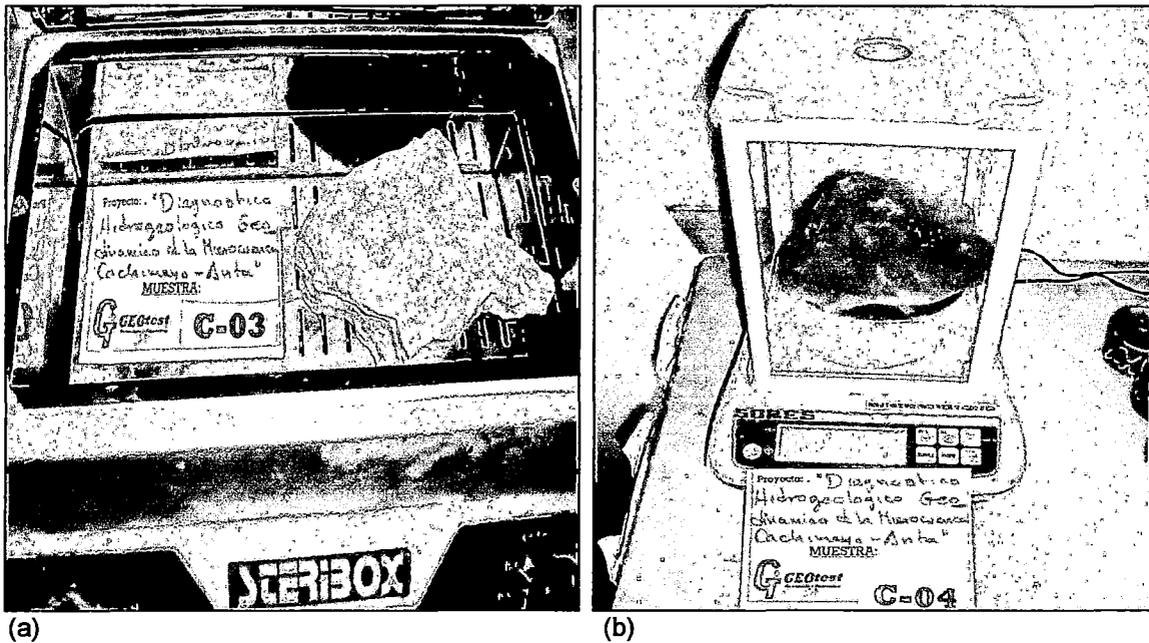
**Falla Kasacunca:** (a) Proyección de fallamiento normal de dirección NW-SE, (vista al NW, Q. Suaray); (b) Plano de falla subsidiaria ( $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ ) de la falla Kasacunca, de movimiento normal con dirección NW-SE, (vista al SE, C° Yanamancha).

**Figura. 10:**



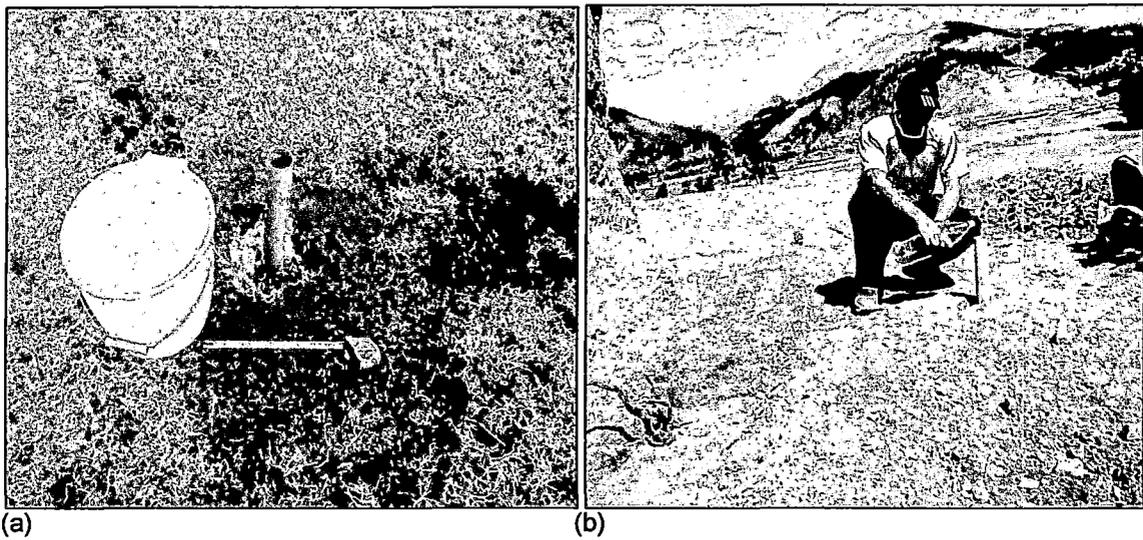
**Pliegues:** (a) Anticinal de Zurite, proyeccion de la charnela erosionado, (vista al NE, C° San Cristobal); (b) plegamiento de direccion NW-SE, en rocas del Grupo San Jeronimo, (vista al SE, Q. Suaray).

**Figura. 11:**



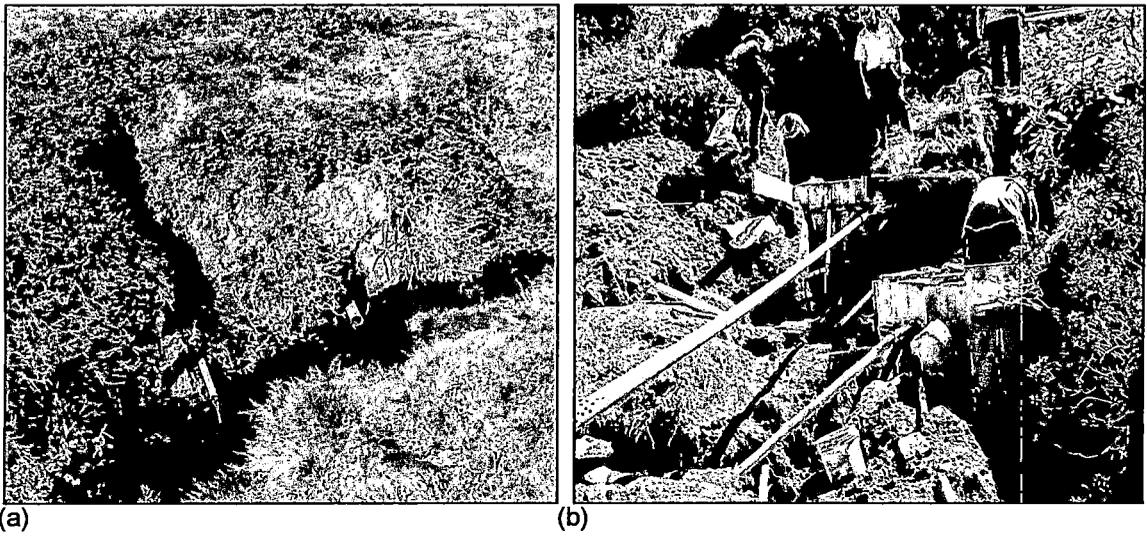
**Análisis en laboratorio:** (a) Secado de muestra en horno a 120°C, (muestra de Formación Anta); (b) Pesado de muestra, (muestra de Formación Kayra).

**Figura. 12:**



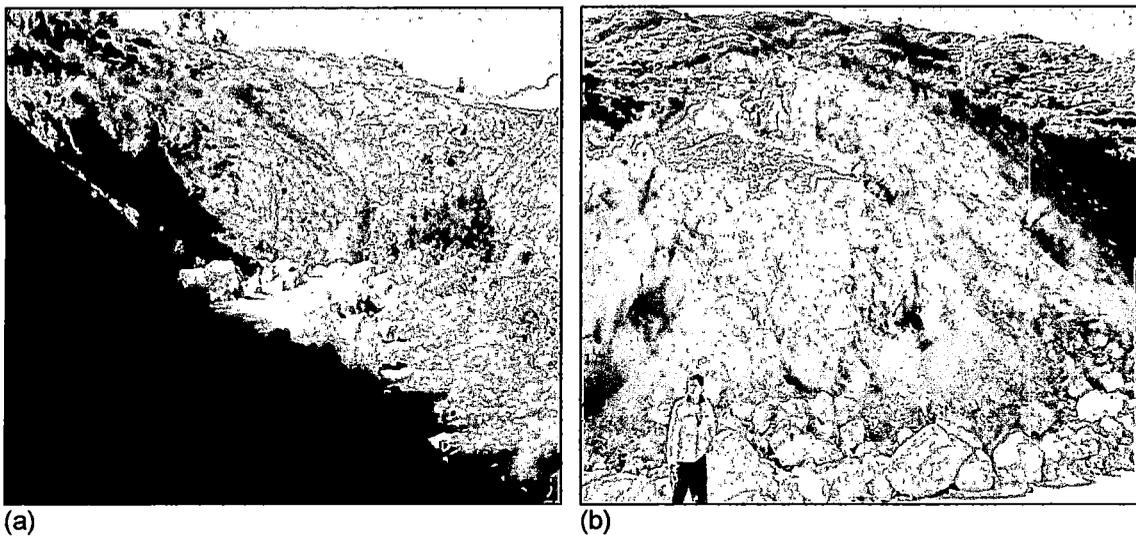
**Pruebas de permeabilidad:** (a) Prueba en piso de valle de la Formación San Sebastián; (b) Prueba en la Formación Maras.

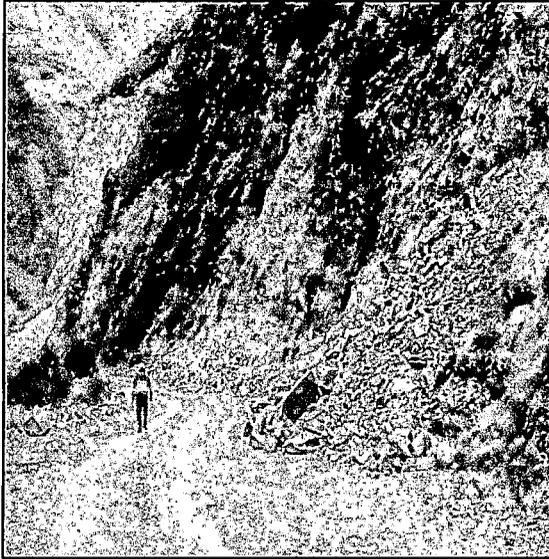
**Figura. 13:**



**Aforos de agua:** (a) Aforo San Marcos que pertenece al acuífero de San Sebastian; (b) Aforo Ascapucyo del acuífero San Jeronimo, aforo en construcción para evastecer de agua a la poblacion de Zurite.

**Figura. 14:**





(c)



(d)

**Caída de rocas:** (a) y (b) Caída de rocas sueltas, Vía Huarcondo – Pachar, km 2+600; (c) y (d) Caída de rocas, vía Huarcondo – Pachar, km 4+500.

**Figura. 15:**



(a)



(b)

**Deslizamiento Traslacional y en cuña:** (a) Deslizamiento en cuña. Izcuchaca, (vista al SE, C° Puchorcco); (b) Deslizamiento traslacional por efecto del socavamiento del pie de talud en vía férrea Cusco–Ollantaytambo, km 45 + 800.

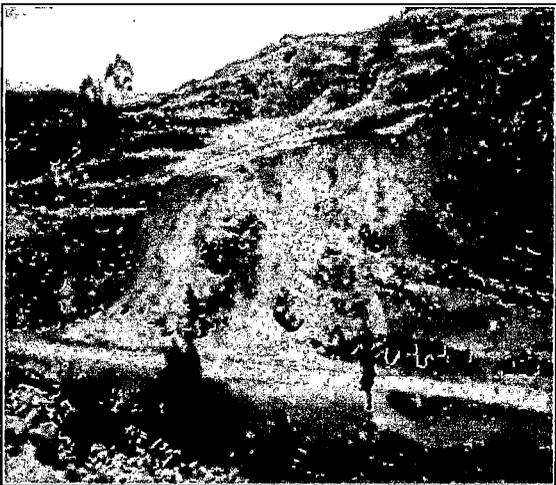
**Figura. 16:**



(a)



(b)



(c)



(d)

**Deslizamientos Rotacional:** (a) Izcuchaca, deslizamiento en talud de pendiente  $>50^\circ$ , (vista al SE, C° Puchorcco); (b) Cachimayo, deslizamiento en talud de vía asfaltada, (vista al NW); (c) Deslizamiento con varias escarpas en vía férrea de Cusco – Ollantaytambo (km 44 + 500), (vista al SW); (d) Deslizamiento en margen derecha del río Huarcoondo, en vía Huarcoondo – Pachar (km 2+ 200), (vista al N).

**Figura. 17:**

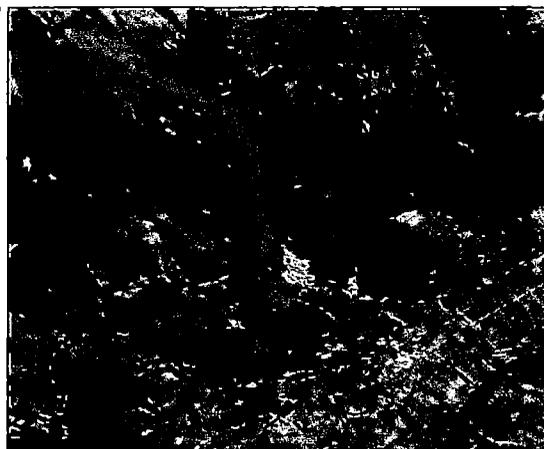


**Flujo de detritos:** Km 3 + 500 Vía afirmada Huarcocondo – Pachar, flujo que interrumpió trocha  
Afecta: 150 m de trocha, (vista al NW).

**Figura. 18:**



(a)



(b)

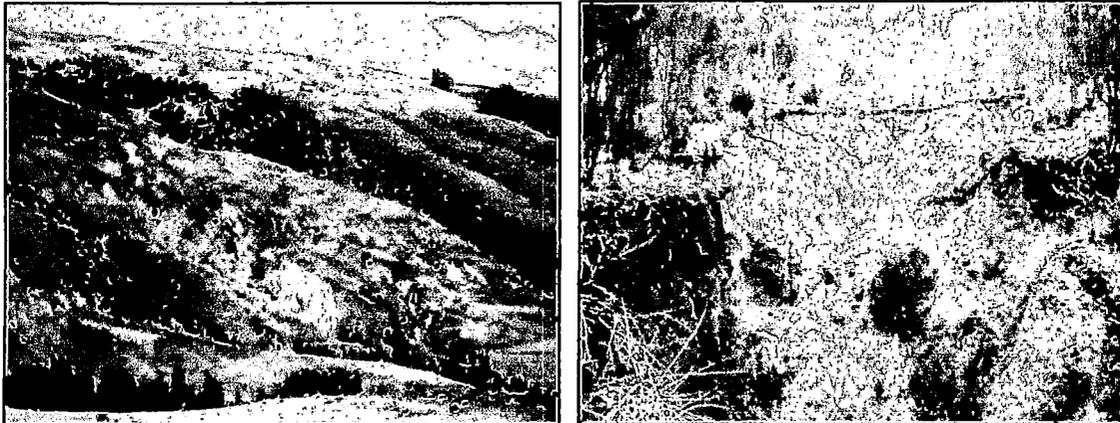


(c)

(d)

**Movimiento complejo:** (a) C° Llamacancha, escarpa principal del deslizamiento rotacional; (b) Reconstrucción del deslizamiento y flujo del 6 de febrero del 2010; (c) y (d) Plaza de Armas y Unidad Escolar Mixta 118 – Zurite afectados por el flujo de detritos, ocurrido el 28 de enero y 6 de febrero del 2010.

**Figura. 19:**

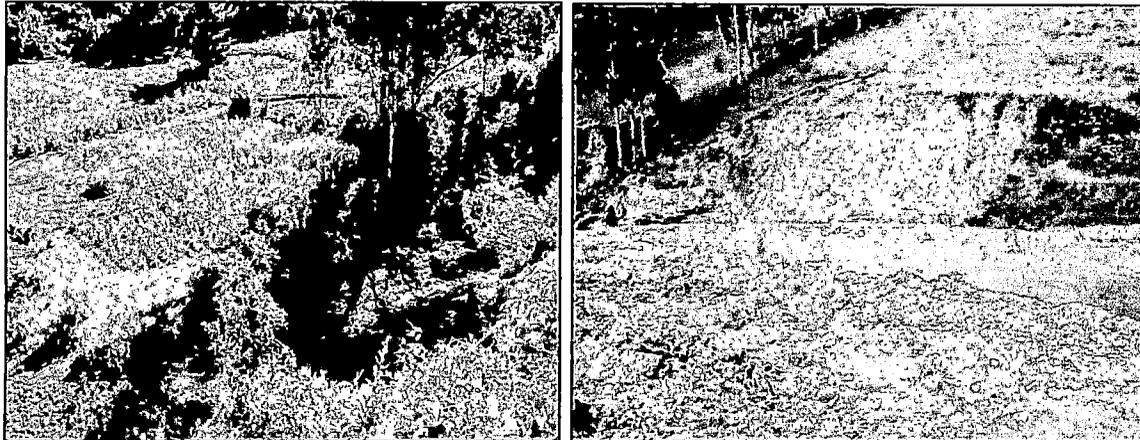


(a)

(b)

**Erosión de laderas (cárcavas):** (a) C° Mojontuyoc (Cachimayo), (vista al SW) y (b) C° Huachaymojo (Quehuar): en laderas de limo arcillitas y areniscas caóticas, (vista al N).

**Figura. 20:**

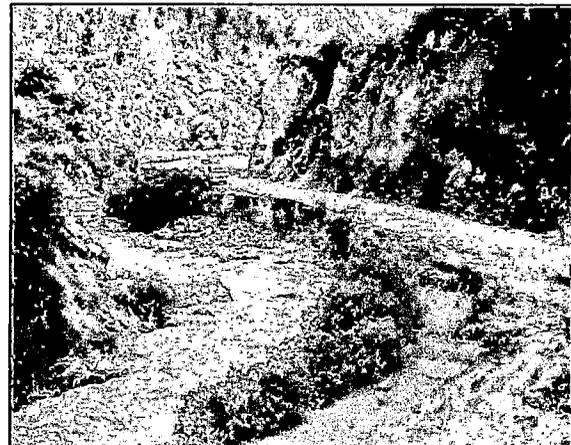


(a)

(b)



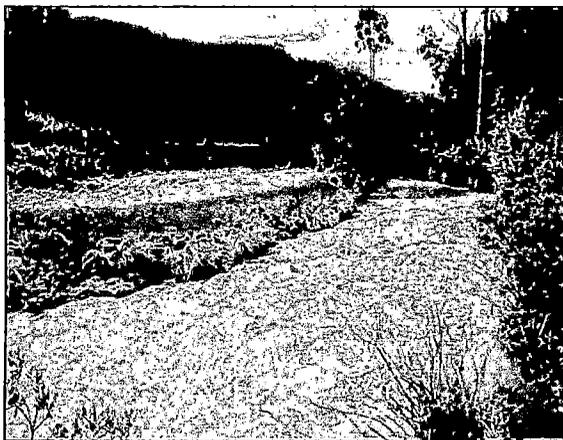
(c)



(d)

**Erosión de laderas:** (a) y (b) Cachimayo y Pucyura, desbordes y erosión de taludes (c) Pucyura, erosión de la plataforma de la vía férrea de Cusco – Ollantaytambo, (km 24); (d) Huarcoondo, erosión de la plataforma de la vía afirmada Huarcoondo – Pachar.

**Figura. 21:**



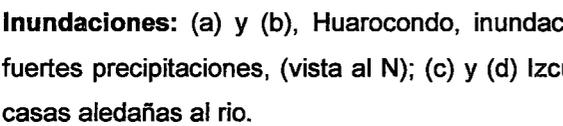
(a)



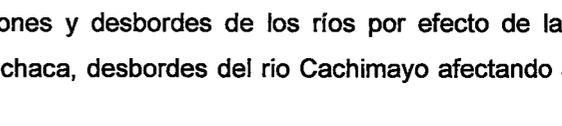
(b)



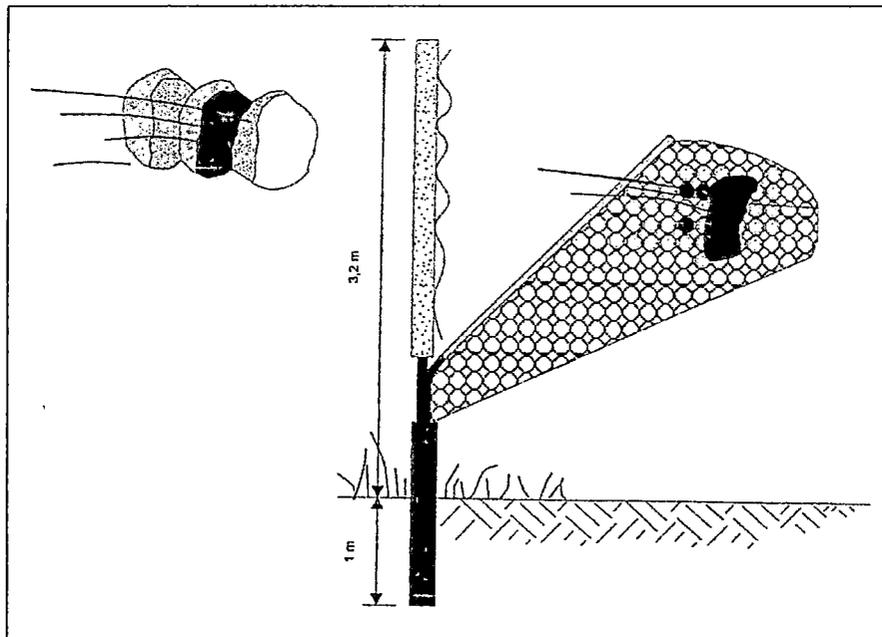
(c)



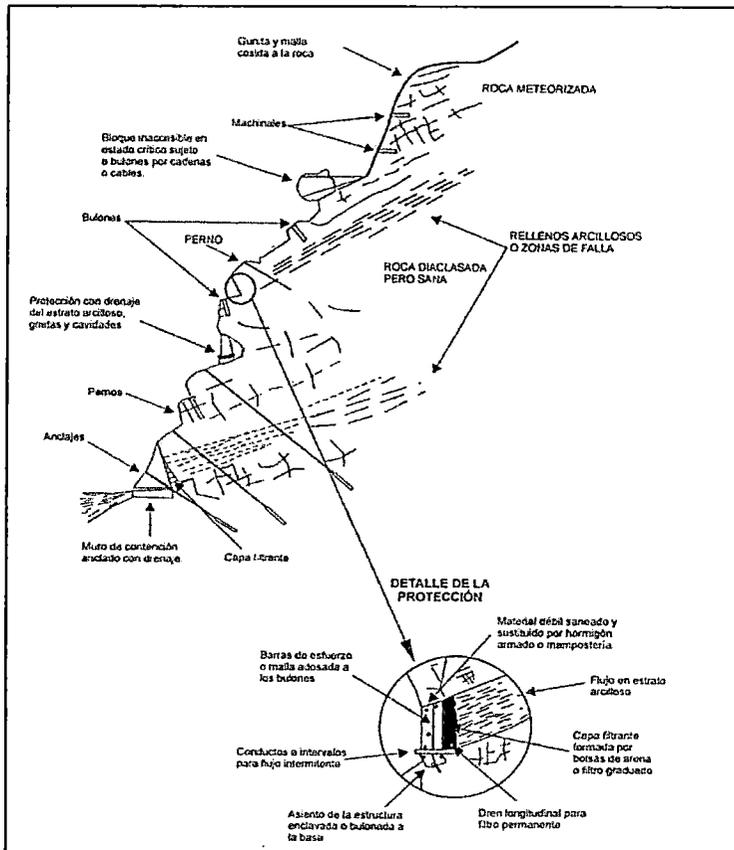
(d)



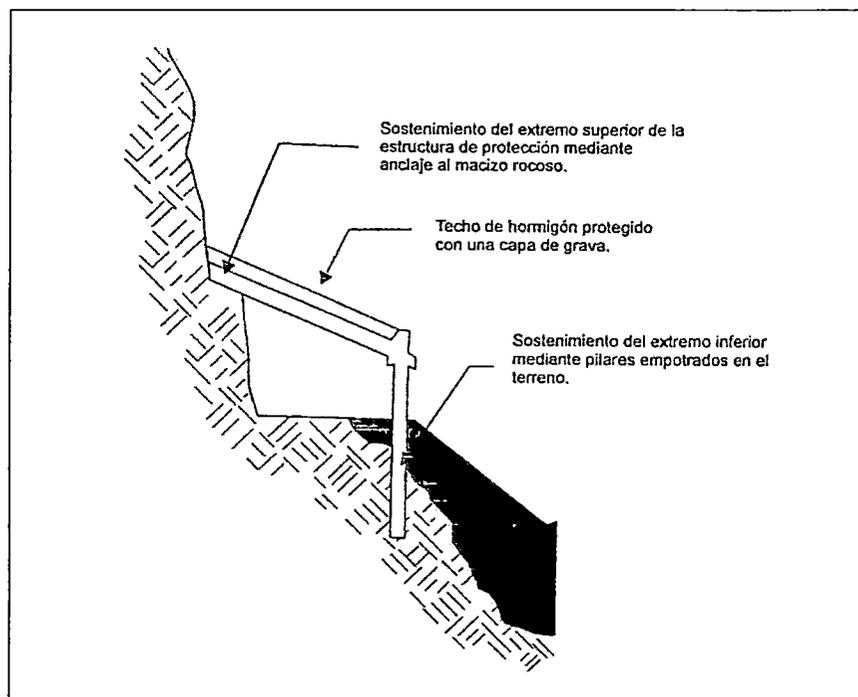
**Inundaciones:** (a) y (b), Huarucondo, inundaciones y desbordes de los ríos por efecto de las fuertes precipitaciones, (vista al N); (c) y (d) Izcuchaca, desbordes del río Cachimayo afectando a casas aledañas al río.



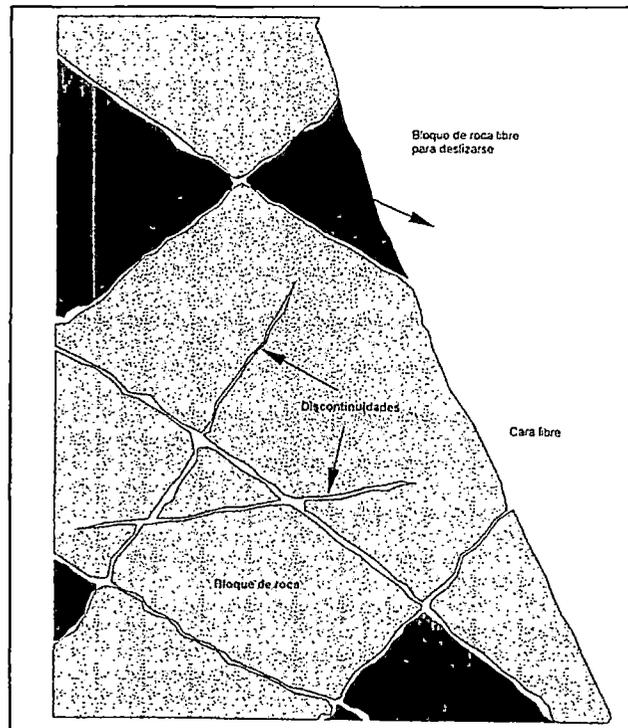
**Figura. 22:** Perfil de una pantalla de postes flexibles (modificada de HEARM, 1991).



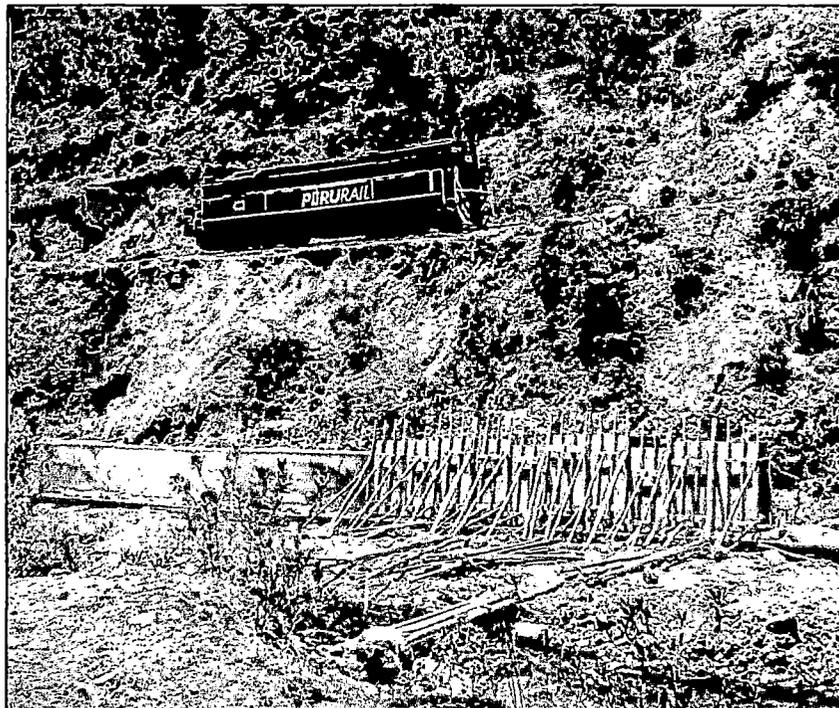
**Figura. 23:** Procedimientos de prevención de caídas (FOOKES Y SWEENEY, 1976)



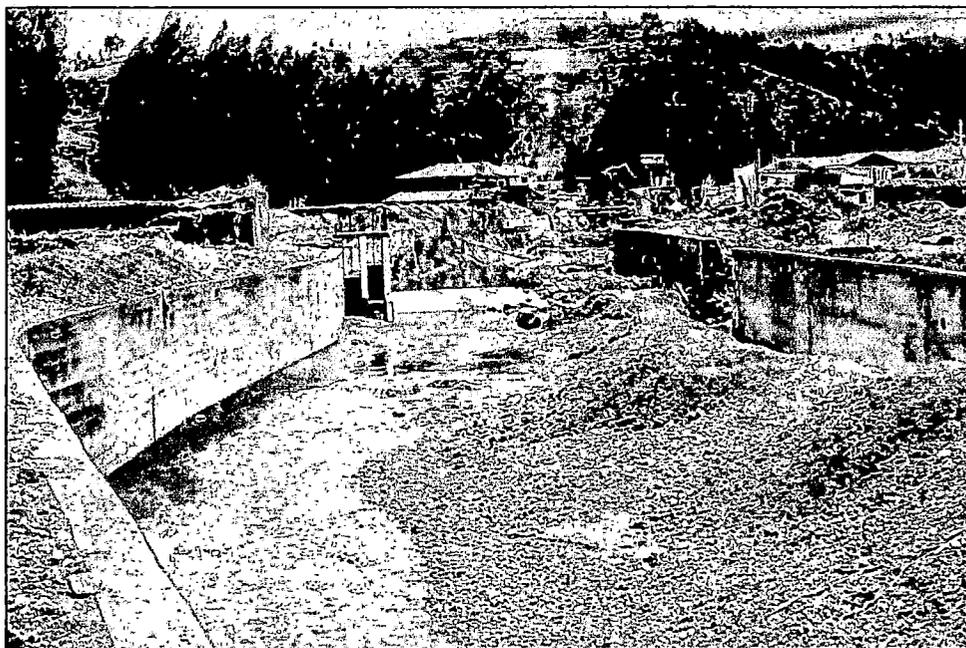
**Figura. 24:** Estructura de protección con instalación de sistemas de anclaje y cimentación al terreno (modificada del TBR, 1996).



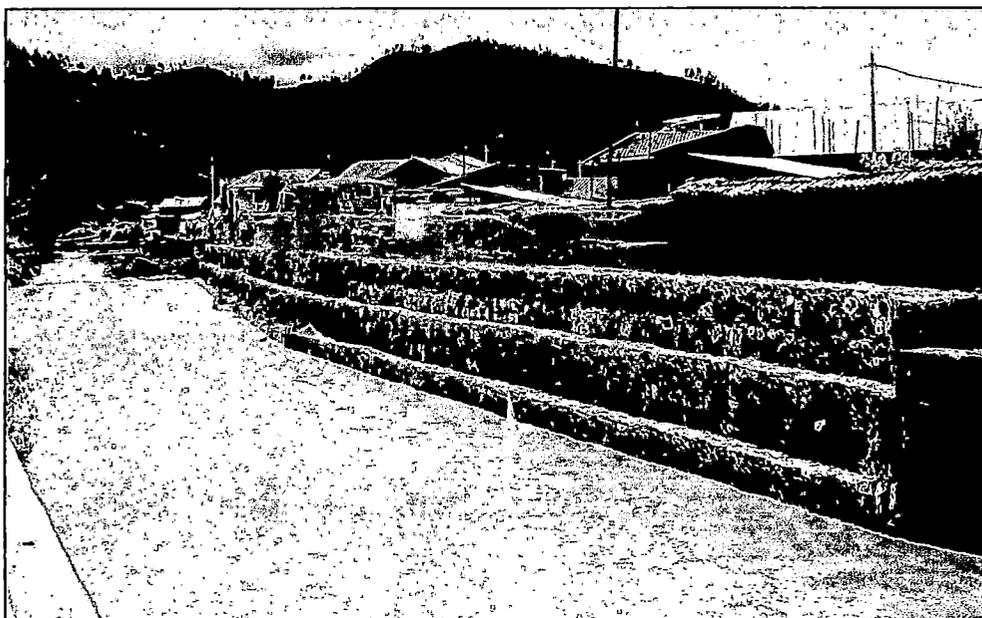
**Figura. 25:** Estabilidad de taludes en función de la dirección preferente de las diaclasas (HUSON, 1989)



**Figura. 26:** Construcción de muros de concreto para estabilizar el talud, en la margen izquierda del río Huarcoondo. Vista al W.



**Figura. 27:** Construcción de muros de concreto para estabilizar el talud y evitar o minimizar las inundaciones en la localidad de Izcuchaca, en la margen izquierda del río Cachimayo. Vista al E.



**Figura. 28:** Construcción de gaviones para estabilizar el talud y minimizar las inundaciones en la localidad de Izcuchaca, en la margen izquierda del río Cachimayo. Vista al E.

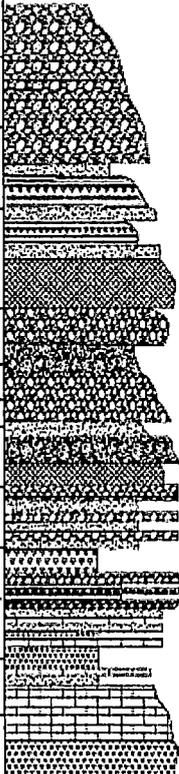
PROGRAMA	PARAMETROS	ELEMENTOS	UNIDADES	Nº DE PUNTOS	Nº MUESTRAS	EJECUTOR O SUPERVISOR	TIEMPO
Agua	Calidad	Temperatura	C°	20	4	El proyecto en coordinación con la dirección de Salud-DESA y SEDA CUSCO	Trimestre(Feb-May-Ago-Nov)
		Turbiedad	NTU				
		Color	UC				
	Cantidad	Ph					
		Alcalinidad total	Mg/lCaco3				
		Dureza total	Mg/lCaco3				
	Uso	Calcio	Mg/l Ca				
		Magnesio	Mg/l Mg				
		Cloruros	Mg/l				
		Conductividad	Us/cm				
		Total de Sólidos Disueltos	Mg/l				
		Total de sólidos					
		Salinidad	Mg/l				
		DBO	%				
		Coliformes totales	Mg/l	71	2		
Coliformes fecales		NPM					
Volumen		NPM		1			
Oferta/Demanda		Lts./seg					
Domestico	Lts/seg						
Riego	Lts/seg						
Abrevadero	Lts/seg						
Riego/Abrevadero	Lts/seg						
Aire	Calidad	Partículas en Suspensión	MP10 y MP2.5	4	4	El proyecto en coordinación con el laboratorio de análisis Químico de la UNSAAC	Trimestre (Feb-May-Ago-Nov)
Suelo	Erosión y deslizamientos Inundaciones Residuos Sólidos y Líquidos	Área en riesgo	M, has	10	2	El proyecto en coordinación con el laboratorio de análisis de suelos de Agronomía UNSAAC	Semestral (Feb.-Set)
		Área en riesgo	M	20	2		
		Metales pesados	Ppm	4	2		
Flora y Fauna	Seguimiento a la información de flora y fauna y comunidades naturales	Tasa de deforestación Especies biológicas raras, Amenazadas en peligro de extinción o de interés por su uso.	Cobertura Nº de ejemplares por especie y avistamiento	6	2	Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	Semestral (Feb.-Set)
Paisaje	Deterioro del Paisaje	Elementos espaciales del territorio: Ecosistemas/paisajes Calidad visual	Percepción	3	4	El proyecto	Trimestre(Feb-May-Ago-Nov)
Sistema de Gestión	Política, planificación, implementación, operación, control y medidas, revisión y mejora.	Cantidad y función de las organizaciones de base y/o instituciones que tomen parte en el proyecto.	Eficiencia/tiempo	3	12	El proyecto	Mensual
Población	Crecimiento Migración	Tasa de crecimientos Censos poblacionales	% Nº de Habitantes	3	1	El proyecto	Annual (Agosto)

Cuadro 9.3: Diseño de Monitoreo Ambiental. Fuente: IMA (2005)

# COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	LITOLOGIA	ROCAS INTRUSIVAS	DESCRIPCION LITOLOGICA	
<b>CENOZOICA</b>	<b>CUATERNARIO</b>	<b>HOLOCENO</b>	Dep. Fluviales <b>Q-f</b>			Gravas, arenas mal seleccionados en matriz arenolimoso incluye terrazas,	
			Dep. Glaciares/ Aluviales <b>Q-g</b>			Bloques y gravas de rocas metamórficas y sedimentarias, angulosas u subangulosas en matriz arenolimoso	
		<b>PLEISTOCENO</b>	Fm San Sebastián <b>Q-sa</b>			Ardillas intercaladas con diatomitas y niveles de turba, areniscas y pizarras.	
			Fm Rumicocco <b>Q-ru</b>			Shoshonitas, andesitas.	
	<b>NEOGENO</b>	<b>PLIOCENO</b>	Fm Chicheras <b>Np-cc</b>			Arenas, gravas en matriz arcilloarenosa.	
		<b>MIOCENO</b>	Valc Tacaza <b>Ts-ta</b>			Rocas volcánicas tufos e lignititas, bancos de conglomerados,	
	Fm Anta <b>Nm-an</b>		Conglomerados con clastos volcánicos, limonitas rojas, brechas y aglomerados volcánicos,				
	<b>PALEOGENO</b>	<b>OLIGOCENO</b>	Gpo San Jerónimo			<b>T-cmd</b>	Areniscas feldespáticas intercaladas con limonitas y bancos de conglomerados
		<b>EOCENO</b>	Fm Soncco <b>Pco-so</b>				
			Fm Kayta <b>Pco-ka</b>				
<b>PALEOCENO</b>		Serjas Rojas		Lutitas rojas con laminas de yeso, margas, areniscas calcáreas de color rojo y conglomerados			
<b>MESOZOICA</b>	<b>CRETACICO</b>	<b>SUPERIOR</b>	Fm Puquina <b>Ks-pu</b>	Lutitas rojas yeso laminado, margas, calizas, lutitas negras ricas en materia orgánica y pirita.			
			Fm Ayavacas <b>Kls-ay</b>	Calizas micríticas y bioclásticas plegadas, con intercalaciones de areniscas y calcarenitas			
		<b>INFERIOR</b>	Fm Maras <b>Kl-ma</b>	Yeso, anhidritas con calizas, limonitas y areniscas calcáreas			
			Fm Paucarbamba <b>Kl-pb</b>	Areniscas intercaladas con limonitas rojas y verdes.			
	<b>TRIASICO</b>	<b>INFERIOR</b>	Fm Huancano <b>Kl-hn</b>	Intrusivos Permiano <b>P-gr</b>	Agglomerados y lavas andesíticas con areniscas pardas y limonitas rojas		
	<b>PALEOZOICA</b>	<b>PERMICO</b>	<b>SUPERIOR</b>	Gpo Mito <b>Pst-m</b>			
		<b>ORDOVISICO</b>	<b>MEDIO</b>				
<b>INFERIOR</b>			Fm San José <b>Om-sj</b>	Pizarras grises con contenido de pirita y limonitas intercaladas con presencia de Criptograpus en la base pizarras con esquistosidad.			

# COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS LITOLOGICAS	ROCAS INTRUSIVAS	DESCRIPCION LITOLOGICA					
<b>CENOZOICA</b>	<b>CUATERNARIO</b>	<b>HOLOCENO</b>	Dep. Fluviales	Q-f		<p style="text-align: center;">Batolito Andahuaylas Yauri <b>T-cmd</b></p>	Gravas, arenas mal seleccionados en matriz arenollosa (incluye tenazas,				
			Dep. Glaciares/Aluviales	Q-g Q-a			Bloques y gravas de rocas metamórficas y sedimentarias, angulosos a subangulosos en matriz arenollosa				
		<b>PLEISTOCENO</b>	Fm San Sebastián	Q-sa			Arcillas intercaladas con diatomitas y niveles de turba,				
			Fm Rumicolca	Q-ru			Shistocalias, andesitas,				
		<b>NEOGENO</b>	<b>PLIOCENO</b>	Fm Chlecheros			Np-cc	Arenas, gravas en matriz arcillosa,			
			<b>MIOCENO</b>	Volc Tacaza			Ts-ta	Rocas volcánicas tufos e lignimbritas, bancos de conglomerados.			
	Fm Anta	Nm-an		Conglomerados con clastos volcánicos, limolitas rojas, brechas y aglomerados volcánicos,							
	<b>PALEOGENO</b>	<b>OLIGOCENO</b>	Gpo San Jerónimo	Poo-so			<p style="text-align: center;">Batolito Andahuaylas Yauri <b>T-cmd</b></p>	<p style="text-align: center;">Batolito Andahuaylas Yauri <b>T-cmd</b></p>	<p style="text-align: center;">Batolito Andahuaylas Yauri <b>T-cmd</b></p>		
		<b>EOCENO</b>	Fm Kayra	Poo-ka						Areniscas feldespáticas intercaladas con limonitas y bancos de conglomerados	
		<b>PALEOCENO</b>	Series Rojas	Fm Chilca Fm Quilque						Pp-qc	Lulitas rojas con lamina de yeso, margas, areniscas calcáreas de color rojo y conglomerados,
											Lulitas rojas yeso laminado, margas, calizas, lulitas negras ricas en material orgánico y pirlita,
	<b>MESOZOICA</b>	<b>CRETACICO</b>	<b>SUPERIOR</b>	Grupo Yuncaypata			Fm Puquín	Ks-pu	Calizas micríticas y biocálizas replegadas, con intercalaciones de areniscas y calcarenitas		
Fm Ayavacas				Kls-ay	Yeso, anhidritas con calizas, limoarcillas y areniscas caolinitas						
<b>INFERIOR</b>			Fm Maras	Kl-ma							