

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAD  
DEL CUSCO

## GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. SALAZAR GUTIÉRREZ, ESAÚ

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR: Mgt. BUSTAMANTE PRADO, FREDY V.

Cusco, Octubre del 2018



## ***DEDICATORIA***

*Con el mayor amor del mundo y de manera muy especial dedico este trabajo:*

*A Dios por estar siempre cerca de mí, por ser mi mayor Mentor y ser mi principal apoyo doctrinal.*

*A mi Padre Félix por ser aquel pilar motivacional de alegría y respeto en el mundo, a mi Madre Eulogia por enseñarme y educarme bajo su inmenso amor y paciencia, y a mis hermanos por su apoyo constante, su gran cariño, comprensión y compañerismo.*

*A mis buenos amigos, mis valiosos maestros y a todas aquellas personas especiales en mi vida con quienes tuve la dicha de compartir un pedacito de ella y quienes cooperaron a que culmine con éxito este gran reto; a ellos por su gran valía en este trabajo.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco por sobre todo a Dios, por haberme dado fortaleza, sabiduría, paciencia y salud para poder cumplir con mis objetivos académicos.*

*De igual manera agradezco al Ing. Sheydi Valenzuela Ríos, Ing. Mauro A. Zegarra Carreón, Ing. José D. Cárdenas Roque, Ing. Josefina Escalante Gutiérrez y al Ing. Iván Cáceres Angulo; por su amistad y colaboración en este trabajo, y a todos los profesores de la Escuela Profesional de Ing. Geológica, por la formación que me brindaron a través de sus enseñanzas.*

*Expreso un agradecimiento especial a mi asesor y maestro Ing. Fredy V. Bustamante Prado por su orientación, aliento y ejemplo de profesionalismo.*

*A mis padres y hermanos, por ser partícipes activos en mi formación profesional y en mis valores como persona, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida y en especial durante mis años universitarios.*

*Finalmente agradezco a mis amigos cuyo aprecio y motivación, colaboraron con la culminación de este trabajo.*



## RESUMEN

La ciudad de Abancay, siendo capital de la región de Apurímac, es necesario que ingrese en un Proceso de Ordenamiento Territorial, la cual es una adopción política del Estado Peruano, debido al crecimiento urbano descontrolado y desordenado de las principales ciudades del país. Entonces el ordenamiento territorial, que es un instrumento de planificación que permite la conservación, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, además del uso más adecuado del territorio sobre la base de sus aptitudes y limitaciones; es de vital importancia, para la ciudad de Abancay, contar con estudios que conlleven a la elaboración futura de un Programa de Ordenamiento Territorial.

En nuestro proyecto, el ordenamiento territorial, se aborda desde la perspectiva estrictamente geológica, aspecto que además es uno de los principales pilares para el buen desarrollo de un POT (Plan de Ordenamiento Territorial).

La ciudad de Abancay, cuenta con algunos estudios relativos al uso adecuado del territorio y expansiones urbanas, sin embargo, carece de estudios geológicos desarrollados en conjunto, y en ausencia de estrategias adecuadas de uso y ocupación del territorio, se profundizan los problemas ambientales como ocupación y destrucción de espacios sin uso antrópico, poniendo en riesgo el bienestar y la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones de la población abanquina; por lo que con nuestro estudio se busca cerrar esa brecha de investigación, a través del análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa, y los planes y/o alternativas para el ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay.

Así, la ciudad de Abancay, objeto principal de nuestro estudio, abarca parte de los distritos de Tamburco y Abancay, respectivamente; sin embargo, el área desarrollado, toma superficies comprendidas por los distritos de Abancay, Tamburco, Huanipaca, Pichirhua y Lambrama, los cuales son constituyentes de la provincia de Abancay. Dicha delimitación del área de trabajo se basó en relación a las microcuencas que confluyen en el río Mariño, el cual es el río principal que surca la ciudad de Abancay.

La geomorfología de nuestro estudio presenta una delimitación marcada en referencia a los agentes modeladores del terreno, por un lado, tenemos el ambiente Glacio-Estructural, dominada por el sector norte y nor-oeste de la ciudad de Abancay, representado por el Nevado del Ampay y/o Complejo Estructural del Ampay, por el sector sur y sur-este, tenemos el dominio Lacustre, representado por la presencia de muchas lagunas originadas a partir del deshielo de los nevados del lugar en pasados tiempos geológicos, y tenemos el centro del área de trabajo, que es de dominio Fluvio-Aluvial y Coluvial, representado por el casco urbano de la ciudad de Abancay y las áreas periféricas inmediatas a este.

Abancay, geológicamente es una ciudad que se encuentra sobre depósitos aluviales, coluviales y morrénicos, los cuales se hallan cementados por material calcáreo, solución que se genera a partir de la interacción de aguas pluviales y subterráneas con calizas del grupo copacabana; este aspecto le otorga un cierto grado de confiabilidad para la construcción de obras civiles a los depósitos cuaternarios; pero a pesar de esta fortaleza, la expansión urbana de la ciudad, presenta muchas limitantes, ya sea por el registro de la gran cantidad de zonas vulnerables a la geodinámica externa, presencia de manantes, actividad de fallas o por el relieve dominado por fuertes pendientes.



La geodinámica externa, reducida a los movimientos en masa, se dan principalmente en el sector norte, nor-este y nor-oeste de la ciudad de Abancay, significando la zona más vulnerable frente a la geodinámica externa en todo el área de trabajo, debido ya sea por las pendientes del terreno, la geología cuaternaria, la presencia de aguas subterráneas o el tipo de suelo limoarcilloso predominante; los que en períodos de precipitación se hacen muy inestables y se convierten en peligros potenciales para la población de dichos sectores y la población abanquina en general.

El análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa, en el presente estudio, se realiza tomando la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico, mediante un análisis multicriterio, basado en la ponderación de valores de criterios geológicos, criterios que son tratados en cada capítulo, tales como: geomorfología, pendientes, litología, estructuras, hidrogeología y geotecnia, que a la vez son traducidos en mapas temáticos. De dicho análisis se obtuvo que los eventos de geodinámica externa, que mayor peligrosidad representan para la ciudad de Abancay, son los deslizamientos, como lo son el deslizamiento de Ccocha-Pumaranra y el deslizamiento de Muyoqcorral, seguidos en peligrosidad por el flujo de detritos del Sahuanay y luego el asentamiento y reptación de suelos del Barrio Fonavi; sin embargo se presentan otros eventos de geodinámica externa en el área de estudio, que representan un menor nivel de peligrosidad para la ciudad.

Por ello la ciudad de Abancay y su desarrollo sostenible, visto de una perspectiva geológica, tiene serias dificultades, ya que no cuentan con un manejo adecuado de quebradas, no dispone de un relleno sanitario para el manejo integral de residuos sólidos, no cuentan con muchos centros de recreación o esparcimiento familiar, etc., realidades que hacen de Abancay una ciudad desordenada con la necesidad de contar con estudios relativos al Ordenamiento Territorial.

Así, de acuerdo al análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa y todos los mapas y/o capítulos tratados en el presente trabajo, se genera algunos planes y/o alternativas para el ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay, como lo son: la nueva vía de evitamiento, manejo y recuperación de quebradas, Abancay “La Nueva”, villa “Ribera Pachachaca” y la ruta del cultivo “Quisapata y Marcahuasi”; que en general contemplan las áreas propicias para una expansión urbana ordenada y segura de la ciudad de Abancay.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>Pág.</b> 002
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	003
<b>RESUMEN</b> .....	004
<b>ÍNDICE</b> .....	006

### CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.....	013
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	013
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	014
1.3.1. PROBLEMA GENERAL.....	014
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	014
1.4. OBJETIVOS.....	014
1.4.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	014
1.4.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	014
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	015
1.6. HIPÓTESIS.....	015
1.7. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	015
1.7.1. FASE PRELIMINAR: Gestación del proyecto y metodología de Investigación.....	015
1.7.2. FASE DE GABINETE I: Recopilación de información existente.....	015
1.7.3. FASE DE CAMPO: Investigaciones de campo.....	016
1.7.4. FASE DE GABINETE II: Trabajos de gabinete finales.....	016
1.8. ANTECEDENTES.....	016
1.9. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	017
1.9.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	017

### CAPÍTULO II GEOGRAFÍA FÍSICA

2.1. PISOS ALTITUDINALES O REGIONES NATURALES DEL PERÚ.....	019
2.1.1. REGIÓN YUNGA O YUNCA.....	019
2.1.2. REGIÓN QUECHUA.....	019
2.1.3. REGIÓN SUNI.....	019
2.1.4. REGIÓN PUNA O JALCA.....	020
2.1.5. REGIÓN JANCA O CORDILLERA.....	020
2.2. CLIMA.....	020
2.2.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA.....	020
2.3. FLORA Y FAUNA.....	022
2.4. RELIEVES Y PENDIENTES.....	023
2.4.1. LLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 4) %.....	024
2.4.2. MODERADAMENTE INCLINADO (4 - 8) %.....	025
2.4.3. FUERTEMENTE INCLINADO (8 - 15) %.....	025
2.4.4. MODERADAMENTE EMPINADO (15 - 25) %.....	025
2.4.5. EMPINADO (25 - 50) %.....	026
2.4.6. FUERTEMENTE EMPINADO (50 - 75) %.....	026



2.4.7. ESCARPADO (> 75) %.....	026
--------------------------------	-----

**CAPÍTULO III  
GEOMORFOLOGÍA**

3.1. CORDILLERA ANDINA.....	028
3.1.1. CORDILLERA Y ESTRIBACIONES.....	028
3.1.1.1. CIMAS DE MONTAÑA.....	028
3.1.1.2. CIMAS DE MONTAÑA ALLANADA.....	029
3.1.1.3. LADERAS DE MONTAÑA.....	029
3.1.1.4. COLINAS.....	030
3.1.1.5. DOMOS.....	031
3.1.2. ALTIPLANICIES.....	031
3.1.2.1. TERRAZAS ESTRUCTURALES.....	031
3.1.2.2. FONDOS DE VALLE FLUVIOGLACIAL.....	032
3.1.2.3. ALTIPLANICIES FLUVIOGLACIALES.....	032
3.1.3. VALLES O PLANICIES DE SEDIMENTACIÓN.....	033
3.1.3.1. FONDOS DE VALLE FLUVIAL.....	033
3.1.3.2. LLANURAS FLUVIALES.....	033
3.1.3.3. TERRAZAS FLUVIALES.....	033
3.1.3.4. TERRAZAS ALUVIALES.....	034
3.1.3.5. QUEBRADAS.....	034
3.1.3.6. PLANICIES ANTRÓPICAS.....	035

**CAPÍTULO IV  
ESTRATIGRAFÍA, ROCAS ÍGNEAS y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

4.1. ESTRATIGRAFÍA.....	036
4.1.1. ERA PALEOZOICA.....	037
4.1.1.1. GRUPO COPACABANA.....	037
a) SECUENCIA INFERIOR (Pi-ci).....	037
b) SECUENCIA SUPERIOR (Pi-cs).....	038
4.1.2. ERA MESOZOICA.....	039
4.1.2.1. ORTOGNEIS DE ABANCAY (Tr-ogn).....	039
4.1.2.2. GRUPO MITU (TsJi-mi).....	041
4.1.2.3. FORMACIÓN SOCOSANI (Jm-so).....	041
4.1.2.4. GRUPO YURA.....	042
a) FORMACIÓN PUENTE (Jm-yu/pu).....	042
b) FORMACIÓN LABRA (Js-yu/la).....	042
c) FORMACIÓN GRAMADAL (Js-yu/gr).....	043
d) FORMACIÓN HUALHUANI (Ki-yu/hu).....	043
4.1.2.5. FORMACIÓN MURCO (Ki-mu).....	043
4.1.2.6. FORMACIÓN ARCURQUINA (Kis-ar).....	044
4.1.2.7. FORMACIÓN AUSANGATE (KsPp-au).....	044
4.1.3. ERA CENOZOICA.....	045
4.1.3.1. DEPÓSITOS MORRÉNICOS (Qpl-mo).....	045
4.1.3.2. DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES (Qpl-fg).....	045
4.1.3.3. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co).....	046
4.1.3.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al).....	047
4.1.3.5. DEPÓSITOS COLUVIOALUVIALES (Qh-ca).....	047
4.1.3.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl).....	047



4.1.3.7. DEPÓSITOS FLUVIOALUVIALES (Qh-fa).....	048
4.2. ROCAS ÍGNEAS.....	049
4.2.1. SECUENCIAS INTRUSIVAS.....	049
4.2.1.1. INTRUSIVO OCOBAMBA ANCHACA (PN-oc-an/czdi).....	049
4.2.1.2. INTRUSIVO LAMBRAMA MARJUNE (PN-lam-ma/mzgr).....	049
4.2.1.3. INTRUSIVO COTABAMBAS CURAHUASI.....	050
a) INTRUSIVOS DE GRANODIORITA (PN-cot-cu/gd).....	050
b) INTRUSIVOS DE GABRO (PN-cot-cu/gb).....	050
4.2.2. SECUENCIAS VOLCÁNICAS.....	051
4.2.2.1. VOLCÁNICO SAÑAYCA (PN-sañ/an).....	051
4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	051
4.3.1. FALLAS.....	053
4.3.1.1. FALLAS NORMALES.....	053
4.3.1.2. FALLAS INVERSAS.....	054
a) FALLA ABANCAY-CURAHUASI.....	054
4.3.1.3. FALLAS TRANSCURRENTES.....	054
a) FALLA PATACANCHA-TAMBURCO.....	054
b) FALLA ABANCAY.....	055
4.3.2. PLIEGUES.....	055
4.3.2.1. ANTICLINORIO DEL AMPAY.....	055
4.3.3. DEFLEXIÓN DE ABANCAY.....	056
4.3.3.1. ASPECTOS GEOESTRUCTURALES.....	057

## CAPÍTULO V HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA y PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS

5.1. HIDROLOGÍA e HIDROGRAFÍA.....	058
5.1.1. PRINCIPALES MICROCUENCAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	059
5.1.1.1. MARIÑO.....	059
a) MARCAHUASI.....	060
b) SAHUANAY-CHINCHICHACA.....	060
c) CCOLCAQUI.....	061
d) HATUMPATA.....	061
e) ÑACCHERO.....	062
f) TRUJIPATA.....	063
g) ANYSHUAYCCO-ALIZAR.....	063
5.1.1.2. SAHUINTO.....	063
5.1.1.3. MASURCANA.....	064
5.1.1.4. ALAMEDA.....	064
5.1.1.5. HUANUSQUI.....	064
5.1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA MICROCUENCA MARIÑO.....	065
5.1.2.1. PARÁMETROS BÁSICOS.....	065
5.1.2.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	065
a) FACTOR DE FORMA DE UNA CUENCA (F).....	065
b) RELACIÓN DE ELONGACIÓN (R).....	065
c) RELACIÓN DE CIRCULARIDAD (Rc).....	065
d) ÍNDICE DE GRAVELIUS O COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C).....	065
5.1.3. CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS.....	066
5.1.4. ESTUDIOS DE AFORAMIENTOS DE LA MICROCUENCA MARIÑO.....	066
5.1.4.1. TURBULENCIA DEL RÍO MARIÑO.....	067
5.1.4.2. TURBULENCIA DE LOS PRINCIPALES RÍOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	067



5.2. CLIMA Y METEOROLOGÍA.....	068
5.2.1. ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SAN ANTONIO.....	068
5.2.1.1. TEMPERATURA.....	069
5.2.1.2. PRECIPITACIÓN.....	069
5.2.1.3. HUMEDAD RELATIVA.....	071
5.2.1.4. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	071
5.3. HIDROGEOLOGÍA.....	072
5.3.1. CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS.....	072
5.3.1.1. ACUÍFEROS.....	072
a) ACUÍFERO EN DEPÓSITOS INCONSOLIDADOS (CUATERNARIO).....	073
b) ACUÍFERO EN ROCAS SEDIMENTARIAS.....	073
c) ACUÍFERO EN ROCAS CRISTALINAS.....	073
5.3.1.2. ACUITARDOS.....	073
5.3.1.3. ACUICLUDOS.....	073
5.3.1.4. ACUIFUGOS.....	074
5.3.2. TIPOS DE ACUÍFEROS.....	074
5.3.3. CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS.....	077
5.3.3.1. COMPACTO.....	077
5.3.3.2. COHERENTE Y POROSO.....	077
5.3.3.3. POROSO.....	078
5.3.3.4. SUELTO Y POROSO.....	079
5.3.4. CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS EN ACUÍFEROS.....	079
5.3.4.1. POROSIDAD.....	079
5.3.4.2. PERMEABILIDAD.....	080
5.3.4.3. CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA.....	081
5.3.5. FACTORES QUE AFECTAN LA POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD.....	082
5.3.6. CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS DE LOS ACUÍFEROS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	082
5.3.6.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “D”.....	082
5.3.6.2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “A”.....	083
5.3.6.3. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “B”.....	083
5.3.6.4. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “C”.....	083
5.3.6.5. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “E”.....	083
5.3.7. CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS.....	084
5.3.8. FLUJOS SUBTERRÁNEOS.....	085
5.4. PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	086
5.4.1. INUNDACIONES.....	087
5.4.2. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS URBANAS CON ALTO RIESGO DE INUNDACIÓN.....	087
5.4.2.1. CAUCE DE LA QUEBRADA FONAVI.....	089
5.4.2.2. QUEBRADA ULLPAHUAYCCO.....	089
5.4.2.3. URBANIZACIÓN SANTA ISABEL.....	089
5.4.2.4. URBANIZACIÓN AYMAS BAJA.....	089
5.4.2.5. SECTOR ÑACCHERO.....	090
5.4.2.6. SECTOR VERONICAYOCC.....	090
5.4.2.7. SECTOR MARCAHUASI.....	091

## CAPÍTULO VI GEODINÁMICA

6.1. GEODINÁMICA INTERNA.....	092
6.1.1. SISMOLOGÍA.....	092
6.1.1.1. MEDIDA DE LOS SISMOS.....	092



a) INTENSIDAD SÍSMICA.....	092
b) MAGNITUD SÍSMICA.....	093
6.1.1.2. PELIGRO SÍSMICO.....	094
6.1.2. SISMOTECTÓNICA EN EL PERÚ.....	096
6.1.2.1. PRINCIPALES ASPECTOS TECTÓNICOS.....	096
a) LA ZONA DE SUBDUCCIÓN DE INTERFACE POCO PROFUNDA.....	098
b) LA ZONA DE SUBDUCCIÓN DE INTRAPLACA.....	098
c) LA ZONA DE CORTEZA CONTINENTAL DE LA PLACA SUDAMERICANA.....	098
6.1.3. SISMICIDAD HISTÓRICA.....	099
6.1.3.1. SISMICIDAD EN LA REGIÓN APURÍMAC.....	099
6.1.3.2. SISMICIDAD, ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN APURÍMAC.....	101
6.2. GEODINÁMICA EXTERNA.....	107
6.2.1. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	107
6.2.2. FACTORES CONDICIONANTES.....	108
6.2.3. FACTORES DESENCADENANTES.....	108
6.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	109
6.2.4.1. CAÍDA DE ROCAS.....	109
a) CAÍDA DE ROCAS Y DETRITOS DEL QUISAPATA.....	110
6.2.4.2. DERRUMBES.....	110
a) DERRUMBES EN LA CARRETERA ABANCAY-CUSCO.....	111
6.2.4.3. REPTACIÓN DE SUELOS "CREEP".....	111
6.2.4.4. HUNDIMIENTOS – ASENTAMIENTOS.....	112
a) REPTACIÓN DE SUELOS Y ASENTAMIENTOS EN EL BARRIO FONAVI.....	112
6.2.4.5. DESLIZAMIENTOS.....	114
6.2.4.6. DESLIZAMIENTO ROTACIONAL.....	114
a) DESLIZAMIENTO DE MUYOQCORRAL.....	114
6.2.4.7. DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL.....	115
a) DESLIZAMIENTO DE CCOCHA-PUMARANRA.....	116
b) DESLIZAMIENTO DE CHUYLLURPATA.....	117
c) DESLIZAMIENTO DE CCONCHOPATA.....	119
6.2.4.8. FLUJO DE DETRITOS.....	119
a) FLUJO DE DETRITOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	119
b) FLUJO DE DETRITOS DEL SAHUANAY.....	120

## CAPÍTULO VII GEOTECNIA

7.1. MAPA GEOTÉCNICO.....	123
7.1.1. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA RECOPIADA.....	123
7.1.2. DESCRIPCIÓN DE TALUDES Y CORTES.....	124
7.1.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	125
7.1.3.1. SELECCIÓN DE LA NOMENCLATURA.....	127
7.1.3.2. TIPOS DE SUELO DE LA CIUDAD DE ABANCAY.....	128
a) SUELOS FINOS.....	134
b) SUELOS ARENOSOS.....	135
c) SUELOS GRAVOSOS.....	136
d) AFLORAMIENTOS ROCOSOS.....	137
7.1.4. MAPA DE CAPACIDAD PORTANTE.....	137
7.1.4.1. CAPACIDAD PORTANTE DE LOS MATERIALES DE LA CIUDAD DE ABANCAY.....	138
a) ROCAS.....	138
b) SUELOS GRAVOSOS.....	138



c) SUELOS ARENOSOS.....	138
d) SUELOS FINOS.....	139

## CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD FRENTE A LA GEODINÁMICA EXTERNA

8.1. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD FRENTE A MOVIMIENTOS EN MASA.....	140
8.1.1. METODOLOGÍA PARA ELABORAR EL MAPA DE NIVEL DE PELIGROSIDAD.....	141
8.1.2. PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO.....	142
8.1.3. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD.....	142
8.1.4. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES.....	145
8.1.4.1. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES PARA DESLIZAMIENTOS.....	146
a) LITOLOGÍA.....	147
b) GEOMORFOLOGÍA.....	148
c) PENDIENTES.....	149
d) GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	149
e) GEOTECNIA.....	150
8.1.4.2. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTOS.....	150
8.1.4.3. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES PARA UN FLUJO DE DETRITOS.....	151
a) LITOLOGÍA.....	152
b) GEOMORFOLOGÍA.....	152
c) HIDROGEOLOGÍA.....	153
d) PENDIENTES.....	153
e) GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	154
f) GEOTECNIA.....	154
8.1.4.4. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A UN FLUJO DE DETRITOS.....	154
8.1.4.5. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS PARA ASENTAMIENTO Y REPTACIÓN DE SUELOS.....	155
a) LITOLOGÍA.....	156
b) GEOMORFOLOGÍA.....	156
c) HIDROGEOLOGÍA.....	157
d) PENDIENTES.....	157
e) GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	158
f) GEOTECNIA.....	158
8.1.4.6. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A ASENTAMIENTO Y REPTACIÓN DE SUELOS.....	158
8.1.5. ESTRATIFICACIÓN DEL MAPA DE PELIGROSIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	159

## CAPÍTULO IX PLANES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY

9.1. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL.....	161
9.1.1. TENDENCIA ACTUAL DE EXPANSIÓN URBANA.....	162
9.1.2. ÁREAS DE EXPANSIÓN URBANA RECOMENDADA.....	163
9.2. PLANES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.....	163
9.2.1. LA NUEVA VÍA DE EVITAMIENTO.....	164
9.2.2. SANTUARIO NACIONAL DEL AMPAY Y LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO.....	164
9.2.3. MANEJO Y RECUPERACIÓN DE QUEBRADAS.....	166
9.2.4. SECTOR DE FONAVI.....	167
9.2.5. ABANCAY "LA NUEVA".....	168
9.2.6. VILLA "RIBERA PACHACHACA".....	169
9.2.7. LA RUTA DEL CULTIVO "QUISAPATA Y MARCAHUASI".....	169



CONCLUSIONES.....	170
RECOMENDACIONES.....	172
BIBLIOGRAFÍA.....	173
GLOSARIO.....	175



## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El Ordenamiento Territorial (OT) es una política de Estado y un instrumento de planificación que permite la conservación, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica. En ese sentido, el OT permite orientar la ocupación y el uso más adecuado del territorio sobre la base de sus propias aptitudes y limitaciones, la preservación del ambiente, así como el manejo racional de los recursos naturales y de la biodiversidad.

En nuestro trabajo, el OT se aborda desde la perspectiva estrictamente geológica, aspecto, que además es uno de los elementos principales para el buen desarrollo de un POT (Plan de Ordenamiento Territorial). La ciudad de Abancay, en lo referente a estudios geológicos, tuvo algunos, los cuales describen de manera bastante somera elementos como: litología de la zona, aspecto tectono-estructural y la hidrogeología, por lo que dichos estudios, son tomados en cuenta de manera muy referencial y no como estudios base en la generación de proyectos de intervención o planes relacionados a la prevención de peligros. Bajo esta premisa y en ausencia de una adecuada estrategia de uso y ocupación del territorio, se profundizan los problemas ambientales como ocupación y destrucción de espacios sin uso antrópico, poniendo en riesgo el bienestar y la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones de la población abanquina; por lo que, con nuestro estudio, se busca cerrar esa brecha de investigación.

Abancay, geológicamente es una ciudad que se encuentra sobre depósitos fluviales, aluviales, coluviales y morrénicos, los cuales se hallan cementados por material calcáreo, aspecto que le otorga un cierto grado de confiabilidad para la construcción de obras civiles. Pero a pesar de esta fortaleza, la expansión urbana de la ciudad de Abancay presenta muchas limitantes y restricciones, ya sea por el registro de la gran cantidad de zonas vulnerables a eventos de geodinámica externa, presencia de manantes, actividad de fallas o a una geomorfología dominada por fuertes pendientes.

Por otro lado, la ciudad de Abancay y su desarrollo sostenible, visto de una perspectiva geológica, tiene serias dificultades, ya que no cuentan con un manejo adecuado de quebradas, no dispone de un relleno sanitario para el manejo integral de residuos sólidos, no cuentan con muchos centros de recreación o esparcimiento familiar, etc., realidades que hacen de Abancay una ciudad desordenada, limitada y con la necesidad de poder contar con estudios relativos al ordenamiento territorial.

### 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La región de Apurímac, es una de las regiones del Perú, la cual a lo largo de décadas, desde su origen, estuvo inmersa en el olvido y el subdesarrollo económico, pero, es en esta última década que dicha región, viene atrayendo la atención de diversos inversionistas nacionales y extranjeros, todo esto debido a la palpable existencia de diversos proyectos mineros y a las características geológico-metalogenéticas que presenta el territorio de Apurímac. Es debido a esta grata realidad, que, siendo la ciudad de Abancay la capital de la región Apurímac, necesita adaptarse al cambio e impactos que dichos proyectos probablemente van a generar dentro de la región, y en consecuencia en la ciudad de Abancay.



Bajo este saber, es que Abancay necesita contar con algunos estudios relacionados a ordenamiento territorial, como los Estudios Técnicos que se abordan en este Proyecto (geología, hidrogeología, geotecnia, geodinámica y análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa), para que de esta manera, el crecimiento urbano sea de manera responsable y ordenada, además de poder brindar diversos servicios adecuados para mejorar la calidad de vida de su población y convertirse en una grata ciudad alternativa para poder ser visitada por la población nacional e internacional.

### 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los problemas por los que se gesta la elaboración de este estudio, están básicamente relacionados al crecimiento urbano desordenado, falta de áreas favorables para el crecimiento urbano, vulnerabilidad de la población abanquina ante eventos de geodinámica externa, carencia de centros de recreación y/o esparcimiento dentro del área urbana de la ciudad y sobre todo, la falta de un estudio adecuado para fomentar el crecimiento urbano y desarrollo sostenible de la ciudad de Abancay.

#### 1.3.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Qué limitantes y deficiencias presenta geológicamente la ciudad de Abancay para tener una expansión y/o crecimiento urbano ordenado con un desarrollo sostenible?

#### 1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Es propicia la geología que presenta el área del proyecto, para asegurar el crecimiento urbano ordenado de la ciudad de Abancay?
- ¿Qué eventos de geodinámica externa presenta la ciudad de Abancay y el área de trabajo?
- ¿Cuáles son los eventos de geodinámica externa más importantes a nivel de historial destructivo dentro de la ciudad de Abancay?
- ¿Debido a qué factores es que la población va invadiendo con la construcción de viviendas las fajas marginales de las quebradas y ríos en el área de trabajo?
- ¿Cuáles son las áreas altamente peligrosas frente a la geodinámica externa y peligros hidrometeorológicos en el área comprendido por el estudio?
- ¿Existen áreas propicias para el crecimiento urbano ordenado de la población Abanquina?
- ¿Cuenta la ciudad de Abancay con un plan de crecimiento y desarrollo urbano?

### 1.4. OBJETIVOS

#### 1.4.1. OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar las limitantes y deficiencias que presenta geológicamente la ciudad de Abancay para tener una expansión y/o crecimiento urbano ordenado con un desarrollo sostenible, basado en el ordenamiento territorial.

#### 1.4.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Realizar un análisis e interpretación del aspecto geológico del territorio para determinar áreas aptas y no aptas para el crecimiento urbano seguro y ordenado.

- Identificar y cartografiar las unidades litológicas a escala local y describir el comportamiento estructural en la zona de estudio.
- Identificar, cuantificar y describir los eventos de geodinámica externa que se presentan en el área de trabajo. Además de determinar el evento geodinámico más importante o catastrófico en el área de trabajo.
- Elaborar un mapa hidrogeológico e inventario de manantes.
- Proponer alternativas de desarrollo en el manejo adecuado de quebradas.
- Elaborar un mapa de peligrosidad para limitar la construcción de infraestructuras en zonas altamente peligrosas frente a eventos de geodinámica externa o movimientos en masa.
- Elaborar un mapa de Planes para Ordenamiento Territorial, basado en el análisis geológico.
- Servir de buen precedente para futuros planes de ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El ¿Por qué? del presente trabajo es: Realizar la descripción, análisis e interpretación geológica sobre el aspecto físico que prevalece en el territorio, lugar donde se llevarán a cabo los diversos estudios que contempla el proyecto, y posteriormente enfocarse en la generación de mapas y un buen sustento argumentativo para motivar e incentivar a un crecimiento urbano y desarrollo sostenible en las autoridades y pobladores de la ciudad de Abancay; y porque dicha ciudad carece de estudios relativos al ordenamiento territorial.

## 1.6. HIPÓTESIS

La geología aplicada al ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay, nos permitirá conocer las limitantes y deficiencias que presenta geológicamente la ciudad para tener una expansión y/o crecimiento urbano ordenado con un desarrollo sostenible.

## 1.7. METEODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente trabajo responde a una Investigación del tipo Descriptivo-Analítico, de un Diseño de Campo-Cualitativo y un nivel Descriptivo, por lo que de acuerdo a ello, la metodología de trabajo se dividirá en 4 fases:

### 1.7.1. FASE PRELIMINAR: Gestación del proyecto y metodología de investigación

En esta etapa es, donde a partir de una idea, el proyecto se gesta para desarrollarse como consecuencia de las experiencias vividas, de donde se destacan las limitaciones y deficiencias que presenta la ciudad de Abancay para poder ofrecer a sus pobladores una mejor calidad de vida y en consecuencia un mejor desarrollo.

### 1.7.2. FASE DE GABINETE I: Recopilación de información existente

Para esta fase del proyecto está programada la recopilación de información precedente, relacionada al presente trabajo, tales como:

- Estudios geológicos de la zona de trabajo, planes urbanísticos y metodologías relacionadas a la formulación de planes de ordenamiento territorial.
- Revisión especial de experiencias sobre planes de ordenamiento territorial en otras naciones (Colombia, España, Guatemala, Chile) y sus principios en nuestro país.
- Revisión de estudios realizados por el INGEMMET (Boletines Geológicos, Mapas Hidrogeológicos, Mapa de Peligrosidades, etc.), Estudio de Ciudades Sostenibles (INDECI), Proyectos de infraestructura a ejecutar por parte del Gobierno Municipal y Gobierno Regional en la ciudad de Abancay, entre otros textos.
- Elaboración de mapas base, mapa geológico preliminar, descarga, interpretación y análisis de imagen satelital Landsat 8 y RapidEye.

### 1.7.3. FASE DE CAMPO: Investigaciones de campo

El programa que comprende esta etapa es:

- Reconocimiento y exploración del área de trabajo.
- Cartografiado geológico, estructural y de movimientos en masa en el área de trabajo.
- Cartografiado geológico a detalle en el casco urbano de la ciudad de Abancay y áreas de proyección para expansión urbana.
- Inventario de manantes y medición de caudales.
- Exploración litológica, con fines de valorar posibles yacimientos no metálicos en la zona de trabajo.
- Toma de fotografías como complemento del trabajo de campo.
- Evaluar áreas que representan un alto peligro ante eventos de movimientos en masa.
- Medición de estructuras geológicas.

### 1.7.4. FASE DE GABINETE II: Trabajos de gabinete finales

Para esta parte de nuestra metodología de trabajo está considerado:

- Ordenar y procesar toda la información geológica generada en campo, para realizar los diversos planos, columnas estratigráficas y estudios respectivos como: geológico, geomorfológico, hidrogeológico, estructural, geotécnico y geodinámico.
- Realizar un análisis e interpretación geoestadística de los datos de campo para la generación del diagnóstico definitivo sobre los objetivos planteados.
- Conclusiones y recomendaciones a partir del análisis e interpretación final del estudio generado.
- Finalmente el geoprocesamiento y la respectiva organización de las temáticas del proyecto, constituirá la construcción y la elaboración de la Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Culminando de esta manera con la elaboración de un informe detallado según los objetivos planteados, elaboración de planos, selección de fotografías, etc; para facilitar la mejor comprensión del estudio.
- Elaboración final de la Tesis.

## 1.8. ANTECEDENTES

Nuestro proyecto, basado principalmente en la ciudad de Abancay, cuenta con algunos precedentes respecto a estudios de geodinámica externa y geología a nivel regional, estudios realizados por:



Municipalidades, Instituciones Nacionales (INGEMMET, INDECI) y el Gobierno Regional, en los cuales se cuenta con algunos datos estadísticos, fichas de campo e inventarios sobre algunos recursos.

En Abril del 2012, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), realiza un estudio “Evaluación del flujo de detritos de Tamburco - Abancay - Apurímac”, a consecuencia de la ocurrencia del flujo de detritos de ese mismo año en el cerro Chuyllurpata, distrito de Tamburco. En dicho estudio se identificaron zonas altamente vulnerables ante la ocurrencia de eventos de geodinámica externa, además del cartografiado a detalle de la zona afectada por el movimiento de remoción en masa.

En diciembre del 2010, la Municipalidad Provincial de Abancay, inicia un proyecto poco común, denominado: Gestión integral de la microcuenca Mariño, proyecto en el que se aborda de manera regional los temas de geología, geomorfología y fisiografía; obviándose el aspecto geodinámico, sin embargo presenta una gran información respecto a la hidrogeología.

En abril del 2007, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), en convenio con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Municipalidad Provincial de Abancay, realizan el estudio “Mapa de peligros de la ciudad de Abancay”, estudio que formaba parte del Programa Nacional de Ciudades Sostenibles. En este estudio se da un mayor énfasis al aspecto geodinámico y geotécnico de la ciudad de Abancay.

## 1.9. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En este apartado se da a conocer una breve descripción de las características generales involucradas en el proceso de desarrollo del presente proyecto; tales como: ubicación, accesibilidad y topografía de la zona de estudio.

El presente trabajo corresponde al análisis de variables geológicas que tienen influencia directa en la formación, desarrollo y establecimiento de cascos urbanos, más aún cuando éstos tienen como plan operativo un proyecto de Ordenamiento Territorial, por lo que dichas variables a considerarse en el proyecto son: geomorfología, estratigrafía, rocas ígneas, geología estructural, geotecnia (clasificación de suelos), hidrogeología, geodinámica externa e interna y análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa.

### 1.9.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La ciudad de Abancay, capital de la región Apurímac, se encuentra en el sur-este del Perú, situada a 2377 msnm en la vertiente oriental de los andes, a orillas del río Mariño, el que es afluente del río Pachachaca, y éste del río Apurímac (Mapa 001 - Mapa de Ubicación). Debido a sus montañas secas y su clima cálido todo el año, es conocido como “El valle de la eterna primavera”.

Geográficamente, Abancay, se encuentra dentro de las siguientes coordenadas:

**Latitud** : 13°38'00"S  
**Longitud** : 72°53'00"W

Geopolíticamente nuestro objeto de estudio abarca territorios de 5 distritos de la provincia de Abancay.



**Región** : Apurímac  
**Provincia** : Abancay  
**Distritos** : Abancay, Tamburco, Huanipaca, Pichirhua y Lambrama.

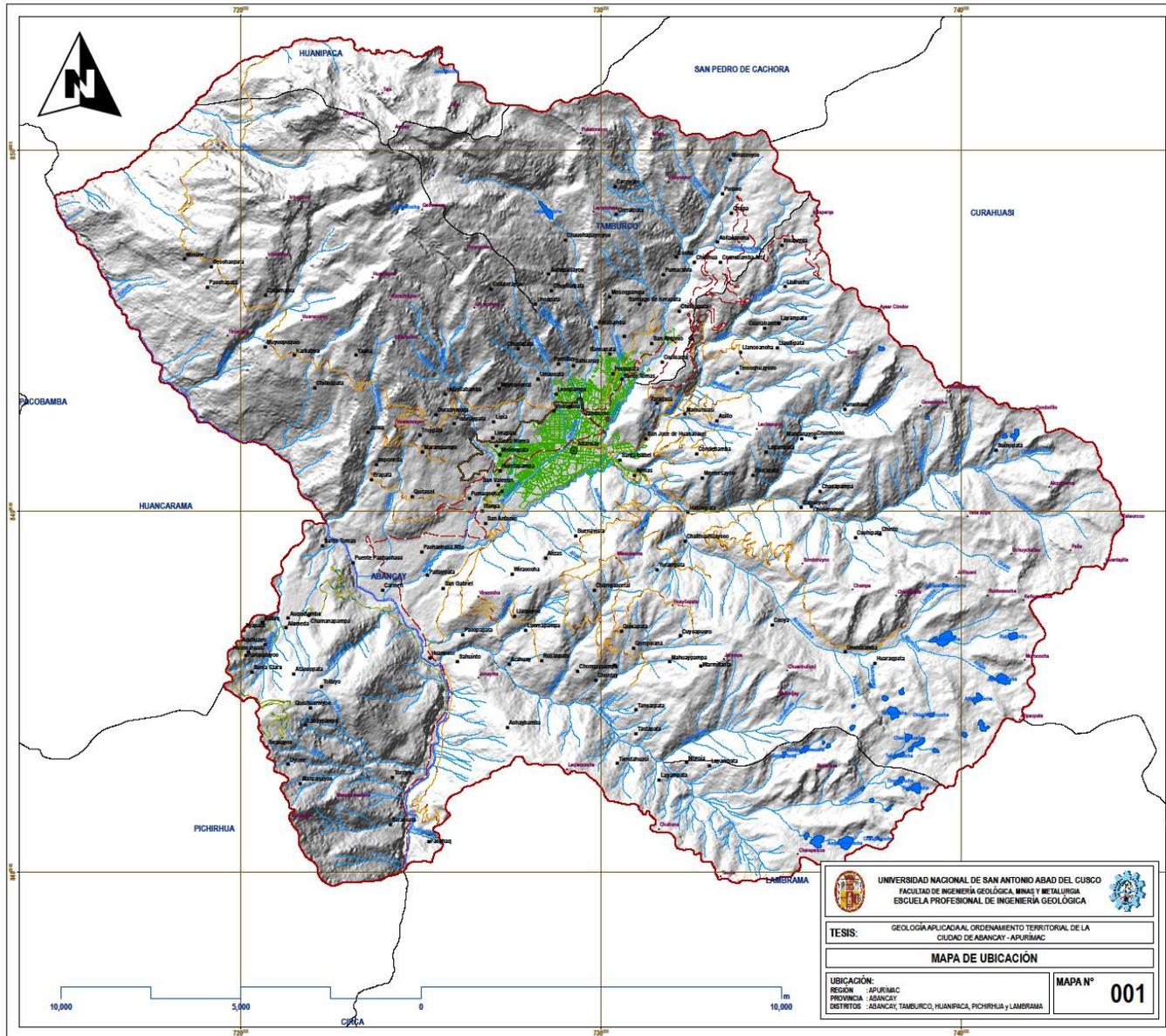
La ciudad de Abancay se encuentra ubicada en la intersección de dos importantes carreteras: La carretera de los Caminos del Inca, entre las ciudades de Nazca y Cusco, y la vía de los Libertadores, conectando Ayacucho y Cusco. Debido a esta ubicación privilegiada que tiene la ciudad de Abancay, puede accederse a ésta mediante dichas rutas principales que consisten:

- Carretera Asfaltada: Lima - Ica - Nazca - Puquio - Abancay (Caminos del Inca).
- Carretera Asfaltada: Ayacucho - Chincheros - Andahuaylas - Abancay (Vía de Los Libertadores).

Desde el punto de vista de la geomorfología, nuestro proyecto se halla ubicado en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, formando parte de la Cordillera del Huanzo, al cual corresponde también el Nevado del Ampay, el mismo que responde al punto de mayor altitud dentro de nuestro área de trabajo (Gráfico 001).



Gráfico 001: Muestra la delimitación del área de estudio en línea roja, y como área principal de interés, el casco urbano de la ciudad de Abancay. Fuente: Google Earth.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1:100 000  
Zonificación Ecológica y Económica de la Región Apurímac - 2016  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/70 000

Mapa: Mapa de Ubicación  
Código de Mapa: MUB1

Elaboración y Diseño de Mapa:  
Bach. Salazar Gutiérrez, Esau

Fecha: Octubre del 2018  
Fuente: Elaboración Propia

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- Red Hidrográfica
- Lagunas
- Catastro Urbano

RED VIAL

- Via Nacional
- Via Regional
- Via Vecinal o Rural
- Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

MAPA DE UBICACIÓN

UBICACIÓN:  
REGION: APURÍMAC  
PROVINCIA: ABANCAY  
DISTRITOS: ABANCAY, TAMBURICO, HUANIPACA, PICHIRHUA y LAMBREYAMA

MAPA N° 001



## CAPÍTULO II GEOGRAFÍA FÍSICA

La geografía física estudia en forma sistémica y espacial la superficie terrestre considerada en su conjunto, y específicamente el espacio geográfico natural, por lo que en el presente capítulo abordaremos temas como: clima, flora y fauna, relieves y pendientes. Sin embargo, la geomorfología, constituyente de la geografía física, se trata de manera independiente en el capítulo III, ya que dicho tratado es esencial para el posterior análisis sobre la geodinámica externa.

### 2.1. PISOS ALTITUDINALES O REGIONES NATURALES DEL PERÚ

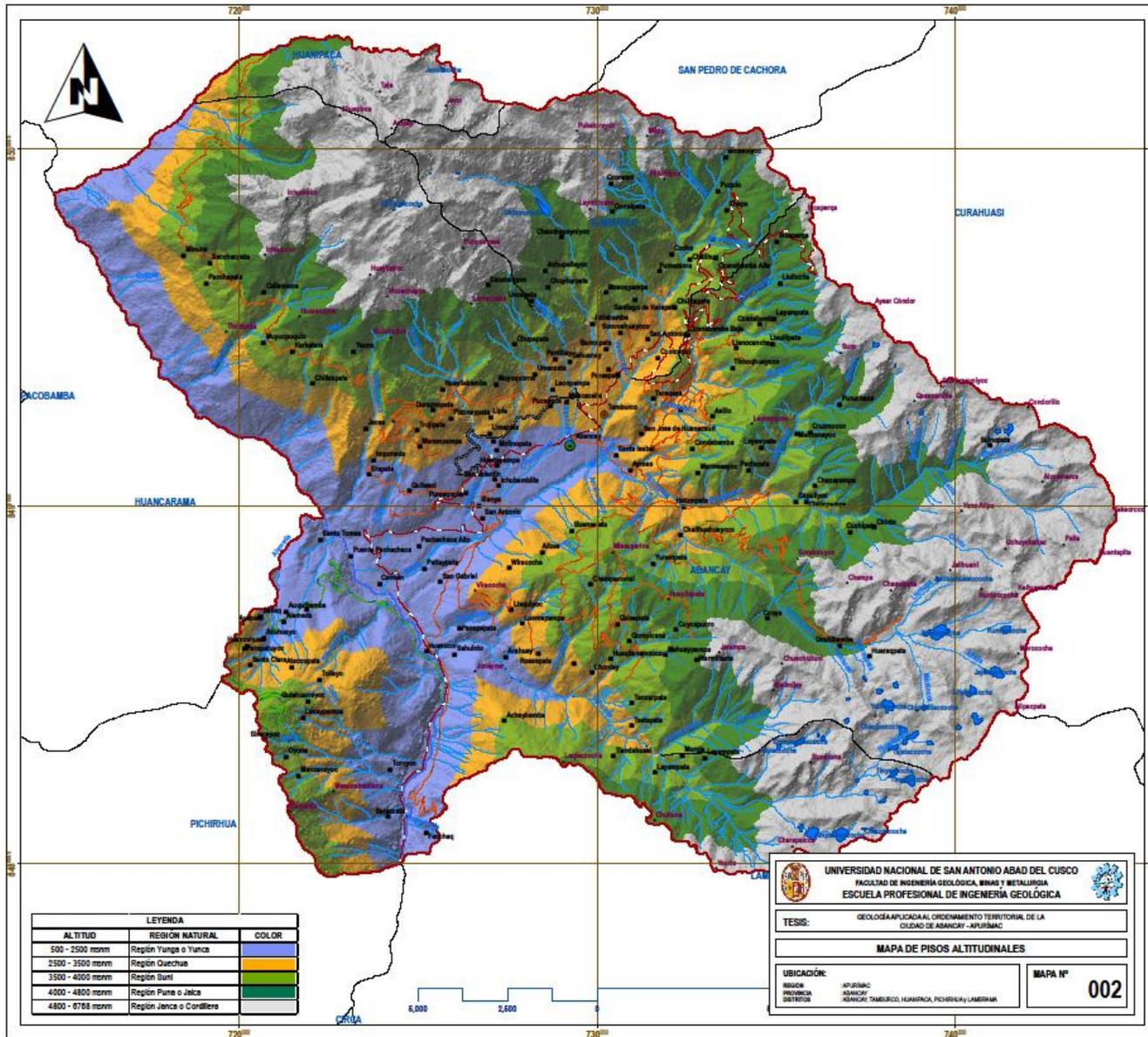
Hablar de regiones naturales en los tiempos actuales representa un problema; lo ideal es denominarlas regiones geográficas. Esto porque en nuestro medio ya no existen las llamadas regiones naturales. A nivel mundial la única región que podría encajar bajo esa denominación es la Antártida, donde aún no existe presencia humana en forma plena y sobre todo modificadora del paisaje. El medio geográfico tan variado que posee nuestro país ha motivado que a través del tiempo se realicen diversos ensayos y estudios de clasificación regional.

De las ocho regiones naturales conocidas, para nuestro proyecto describimos 5 de ellos, las cuales también son propias de la sierra en nuestro medio geográfico nacional (Mapa 002 - Mapa de Pisos Altitudinales).

**2.1.1. REGIÓN YUNGA O YUNCA.** En Quechua equivale a valle cálido; en Aymara a mujer estéril. Ambas connotaciones están referidas a una región cálida y de aspecto rocoso con escasa vegetación por falta de riego. Comprende a todo el valle del Pachachaca, donde se encuentran la gran mayoría de los áreas de cultivo de la zona de estudio. Se extiende entre los 500 y 2500 msnm.

**2.1.2. REGIÓN QUECHUA.** Conformada por montañas de pendientes suaves y elevaciones menores que se encuentran conformadas por laderas de pendientes fuertemente inclinados a empinados y por valles interandinos, que poseen tierras muy buenas para la agricultura. La región Quechua o el término Quechua, servía desde tiempos prehispánicos para denominar a las tierras de clima seco y templado con cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche y con fuertes lluvias de diciembre a marzo. La temperatura media anual se encuentra entre los 11°C y 16°C, las máximas entre 22°C y 29°C y las mínimas entre los 7°C y -4°C durante el invierno, es decir de Mayo a Agosto. Es la región que se ubica entre los 2500 y los 3500 msnm.

**2.1.3. REGIÓN SUNI.** En Quechua significa lugar de altura, relacionado con el frío. Este nombre responde a la composición lingüística de los nombres de muchos pueblos, ciudades y provincias pertenecientes a ese piso altitudinal y a ese clima; por ejemplo Sunin (Junín), Sunicancha (Huarochiri), Sunimarca (Puno) y Sunivilca (Canta). Geomorfológicamente responde a una topografía con predominancia de rocas y escasos depósitos de suelos, con valles estrechos y profundos. El clima es predominantemente frío, donde se presentan frecuentemente las heladas donde la temperatura media anual fluctúa entre los 7°C a 10°C, con máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -6°C (Mayo - Agosto). La precipitación promedio es de 800 mm por año. Abarca todo el valle de Abancay y zonas desde los 3500 hasta los 4000 msnm.



LEYENDA		
ALTITUD	REGION NATURAL	COLOR
500 - 2500 mm	Región Yunga o Yanca	Blue
2500 - 3500 mm	Región Quechua	Green
3500 - 4000 mm	Región Suni	Yellow
4000 - 4800 mm	Región Pune o Jelca	Orange
4800 - 6768 mm	Región Jenca o Cordillera	Red

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

MAPA DE PISOS ALTITUDINALES

UBICACIÓN:  
REGION: APURÍMAC  
PROVINCIA: ABANCAY  
DISTRITO: ABANCAY TAMBILCO, HUANCARMA, PICHIRHUA Y LAMERMA

MAPA N° 002

**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**



**REFERENCIA**

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Regiones Naturales del País - Javier Pulgar Vidal  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2007  
Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/100 000

Mapa: Mapa de Pisos Altitudinales  
Código de Mapa: MFALT

Elaboración y Diseño de Mapa: Bach. Salazar Gutiérrez, Esau  
Fuente: Elaboración Propia

**SIMBOLOGÍA**

- Capital Departamental
  - Capital Distrital
  - Poblados
  - Límite Distrital
  - Cerros
  - Área de Estudio
  - Red Hidrográfica
  - Lagunas
- RED VIAL**
- Via Nacional
  - Via Regional
  - Via Vecinal o Rural
  - Via de Evitamiento

**2.1.4. REGIÓN PUNA O JALCA.** El término Puna, se utiliza en casi toda América del Sur, pero sin tener una significación clara y uniforme. Es una región sumamente fría con temperaturas media que oscilan entre 0°C a 7°C, la precipitación fluctúa entre los 400 mm y 100 mm al año. Se destaca por la presencia de mesetas, zonas de pastos, lagos y lagunas. Se refiere a la región que va desde los 4000 hasta los 4800 msnm. En nuestro estudio ocupa las elevaciones menores como el Quisapata y colinas del Ampay.

**2.1.5. REGIÓN JANCA O CORDILLERA.** En Quechua, significa maíz tostado y reventado, es decir maíz blanco. En Aymara existen las palabras Jonco y Onco que significa blanco, en Cauqui, significa blanco. Es el último escalón de los Andes, propio de las zonas de glaciares y nieves perpetuas. Corresponde a tierras muy frías de las cumbres cordilleranas, en las que puede observarse la blancura de la nieve y en nuestro estudio está caracterizado por el Nevado del Ampay y las zonas Glacio-lacustres del sector sur-este de la ciudad de Abancay. Se extiende desde los 4800 hasta los 6768 msnm.

REGIONES (CARL TROLL)		REGIONES NATURALES (PULGAR VIDAL)
Lado Occidental	Árido	Chala o Costa Yunga Marina
	Sierra	Quecha
	Páramo	Jalca o Suni
	Puna	Puna
	Nevados	Janca o Cordillera
Lado Oriental	Ceja de Montaña	(Yunga fluvial, Quechua y Suni o Jalca antes de la intervención agrícola)
	Medio Yungas	Rupa Rupa o Selva alta
	Montaña	Omagua o Selva baja

Tabla 001: Clasificación de la Regiones Naturales del Perú, según Javier Pulgar Vidal y su correspondencia a la clasificación de Regiones, según Carl Troll.

## 2.2. CLIMA

El clima es la condición o estado físico de la atmósfera, resultante de la interacción o interrelación de los elementos y factores climáticos en un cierto período de tiempo cronológico y cierta área geográfica. En sentido estricto, se entiende por clima a las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinado.

El clima puede explicarse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principal de elementos como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos, tales como los tipos de fenómenos meteorológicos que son característicos de un lugar o región durante cualquier período de tiempo. “*Guía de Prácticas Climatológicas - Organización Meteorológica Mundial 2011*”.

### 2.2.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Se refiere a la determinación de las principales características climáticas que proporcionan el fundamento para la existencia de las variedades o tipos climáticos, las que son variadas teniendo en

cuenta distintos criterios (temperatura, precipitación, vegetación, altitud, evapotranspiración, etc). En el Perú se observan casi todos los climas del mundo, razón por la cual se le considera la “Síntesis Climática Mundial”, que está determinado por un sinnúmero de factores propios de cada lugar.

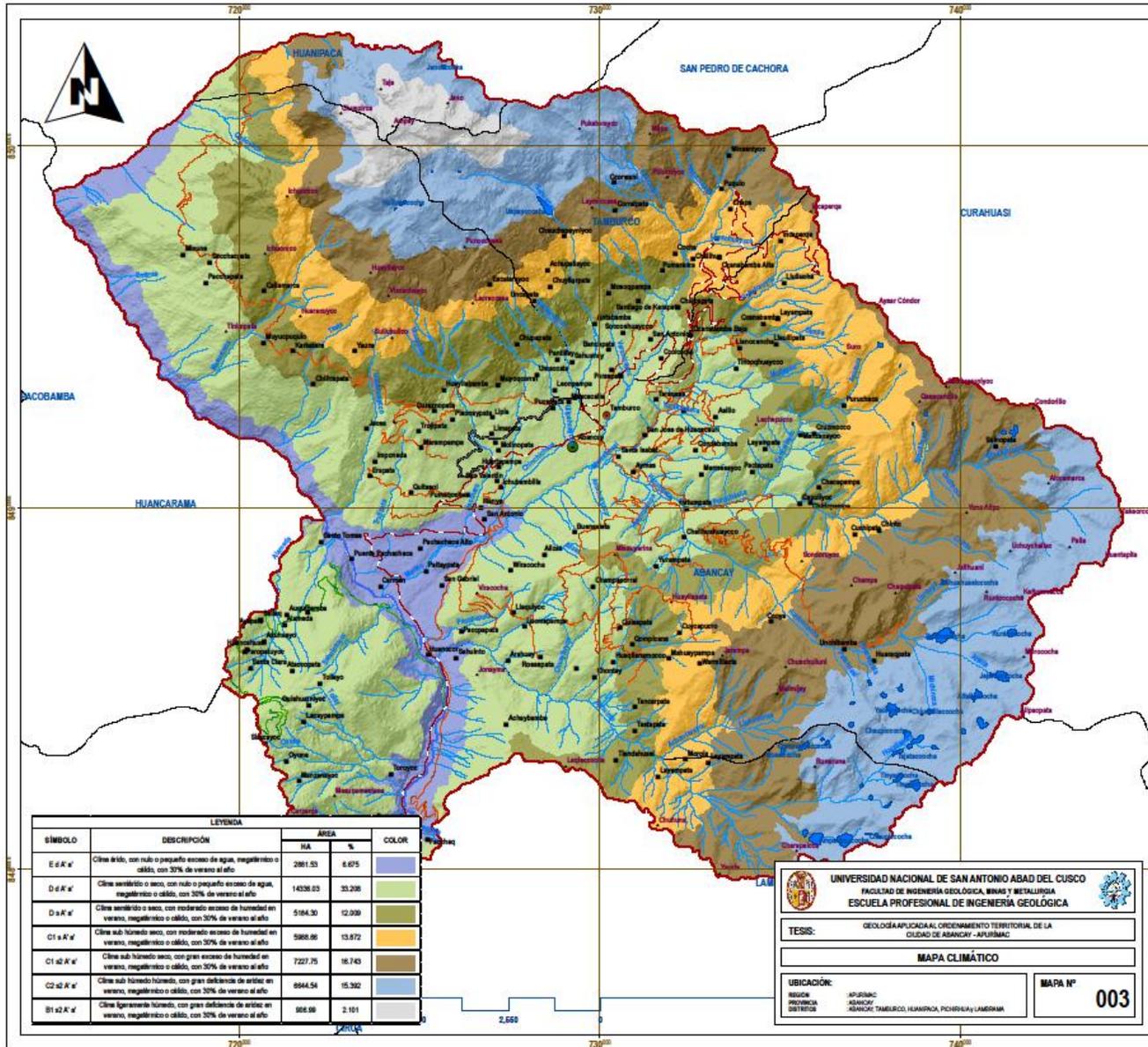
Para el presente estudio se tomó la clasificación climática de acuerdo a ThornthWaite, que a diferencia de otras, está basada en dos aspectos fundamentales: Por un lado la evapotranspiración potencial, que define la eficacia térmica, y por otro la cuantía del exceso o déficit de agua que indican la humedad disponible a partir del balance hídrico.

SIMBOLO	DESCRIPCION
B1 s2 A' a'	Clima ligeramente húmedo, con gran deficiencia de aridez en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
C2 s2 A' a'	Clima sub húmedo húmedo, con gran deficiencia de aridez en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
C1 s A' a'	Clima sub húmedo seco, con moderado exceso de humedad en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
C1 s2 A' a'	Clima sub húmedo seco, con gran exceso de humedad en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
D d A' a'	Clima semiárido o seco, con nulo o pequeño exceso de agua, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
D s A' a'	Clima semiárido o seco, con moderado exceso de humedad en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
D s2 A' a'	Clima semiárido o seco, con gran exceso de humedad en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
E d A' a'	Clima árido, con nulo o pequeño exceso de agua, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año
E s2 A' a'	Clima árido, con gran exceso de humedad en verano, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año

Tabla 002: Clasificación climática según ThornthWaite. Fuente: Estudio Climático de la Zonificación Ecológica y Económica de la Región Apurímac, 2015.

De los tipos climáticos que se describen en la tabla anterior, para nuestro estudio, realizando un trabajo de corrección de acuerdo a la escala de trabajo y el Mapa de Altitudes, se determinaron 7 tipos climáticos (Mapa 003 - Mapa Climático).

En síntesis el área comprendida por el proyecto, presenta una predominancia de un clima de régimen tropical, resaltando los registros de dos estaciones muy marcadas: Un período lluvioso de Octubre a Abril y un período seco de Mayo a Septiembre. La ciudad de Abancay presenta un clima templado, con una temperatura media anual de 23,8°C y una mínima de 11,7°C. El clima predominante es templado seco, moderadamente lluvioso y con una amplitud térmica moderada pues pertenece al piso altitudinal “Región Quechua”, que menciona una temperatura templada seca, la cual cambia durante la mañana y durante la noche (Pulgar Vidal, J.). A medida que se asciende hacia el Santuario del Ampay la temperatura corresponde a la Región Suni desde los 3500 msnm a 4000 msnm. El acceso hacia el Santuario Nacional del Ampay es a través de la Microcuenca Sahuanay-Chinchichaca, el cual posee un microclima de un bosque húmedo y templado, por encima de los 3700 msnm y en donde se



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Zonificación Ecológica y Económica de Apurímac - 2016  
Centros Políticos: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2007  
Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Hemisrio: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/100 000

Mapa: Código de Mapa:  
Mapa Climático MCLI

Elaboración y Diseño de Mapa: Fuente:  
Bach. Salazar Gutiérrez, Esau Zonificación Ecológica y Económica de la Región Apurímac - 2016

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- Red Hidrográfica
- Lagunas

RED VIAL

- Via Nacional
- Via Regional
- Via Vecinal o Rural
- Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLÓGIA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

MAPA CLIMÁTICO

UBICACIÓN:  
REGIÓN: APURÍMAC  
PROVINCIA: ABANCAY  
DISTRITO: ABANCAY, TAMBOCO, HUAMPACA, POCHIHUAY, LAMBAY

MAPA N° 003

distinguen temperaturas bajas llegando a los 0°C, con presencia de nevadas entre altitudes de 5000 msnm a más, como las que se registran en el Nevado del Ampay (IDMA, 1998). La precipitación en las partes altas llega hasta los 710 mm por año.

Tabla 003: Parámetros climáticos promedio en la ciudad de Abancay.

Parámetros Climáticos promedio de Abancay (Territorios entre 2000 – 2500 msnm)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T° Máxima Media (°C)	19	19	19	20	20	19.5	20	21	21	21	20.5	21	20.1
T° Míjima Media (°C)	7	6.5	6	5	2	1	0	4.5	6	6	6	6	4.7
Precipitación Total (mm)	120	139	125	42	12	7	9	13	25	47	62	84	685

Fuente: Accuweather.

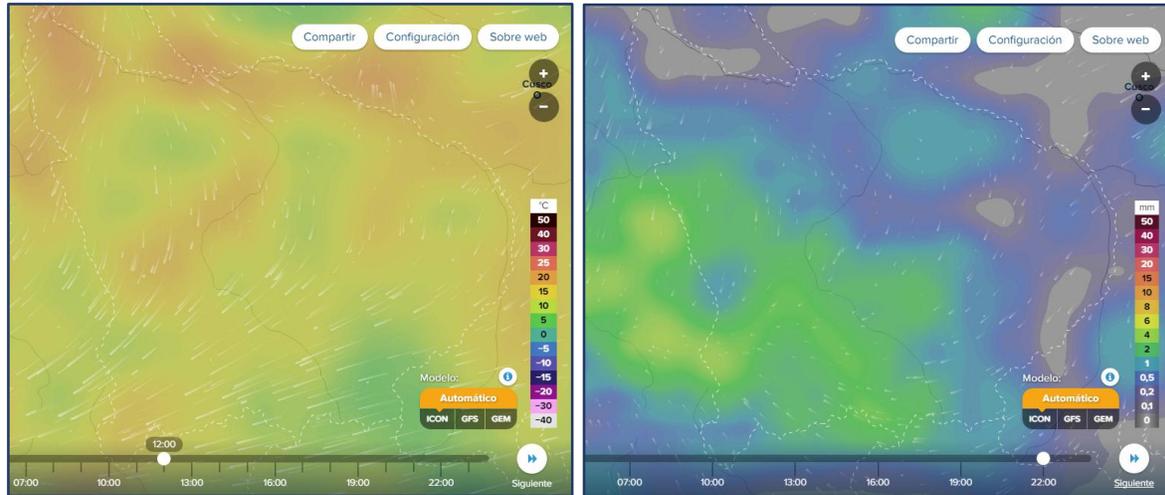


Gráfico 002 y 003: Las imágenes muestran la Temperatura (Izquierda) y Precipitación (Derecha) en tiempo real durante una hora determinada en la Región de Apurímac. Fuente: VENTUSKY.

### 2.3. FLORA Y FAUNA

Nuestra zona de Trabajo alberga a más de 1 000 especies vegetales silvestres determinadas y más de 80 cultivadas. Algunas especies son endémicas y se encuentran en peligro de extinción como la “Intimpa” (*Podocarpus glomeratus*), la “Q’euña” (*Polylepis sp*) y la “Unca”. Además se destacan grandes extensiones de bosques andinos relictos conformados por especies forestales que albergan flora y fauna endémica de gran importancia para la ciencia como muestras representativas de la diversidad biológica del Perú. Así tenemos en fauna, 180 especies silvestres identificadas y más de 20 especies domésticas. En extinción se encuentra la “Taruca” (*Hippocamelus atesiensis*), el “Venado” (*Odocoileus virginianus*), el “Cóndor” (*Vultur grifus*), el “Oso de anteojos”, la “Vicuña”, entre otros.

Asímismo y comprendido dentro de nuestra área de estudio, tenemos el Santuario Nacional del Ampay, el cual es un área y lugar maravilloso desde un punto de vista ecosistémico y turístico, en donde destaca la diversidad florística y faunística.

El Santuario Nacional del Ampay, ha sido ampliamente estudiada, así los especímenes registrados en flora alcanzan una cantidad de 701 especies, destacando las Begonias, Orquídeas, Helechos y Bomareas (Ampayesana); en cuanto a la fauna presente se tienen registrados unas 82 especies, de

los cuales 12 corresponden a mamíferos y 70 a aves, donde destacan: Zorros, Venados, Osos de anteojos (Foto 001), Vizcachas, Pumas, Gatos monteses, Zorrinos, Colibríes, Perdices y Búhos. Y entre sus atractivos más resaltantes tenemos el Bosque de Intimpas, el Nevado del Ampay, diversas lagunas (Foto 002) y algunas pinturas rupestres.

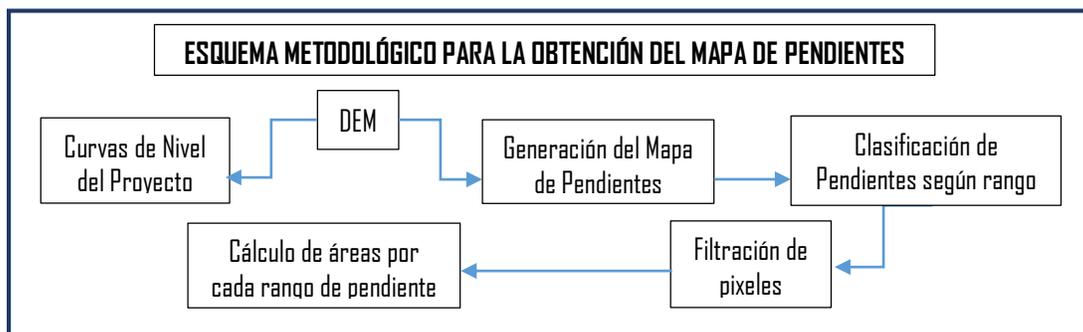


Foto 001 (Izquierda). Muestra a un ejemplar de Oso de Anteojos, animal que es típico del Santuario Nacional del Ampay. Foto 002 (Derecha): Vista de la Laguna y el Bosque de Helechos e Intimpas, que forman parte del Ampay y que además forman parte de la identidad Abanquina (Los Bosques de Intimpas).

## 2.4. RELIEVES Y PENDIENTES

Los relieves y/o pendientes representan el escaneo superficial de la configuración actual de la topografía del terreno, los cuales además son el resultado del accionar cronológico de actividades inherentes a la geología, tales como: erupciones volcánicas, sismos, colisiones de cuerpos estelares, etc., por lo que, es la pendiente del terreno, uno de los parámetros que más se utilizan cuando se habla de geomorfología y del relieve de la superficie terrestre, ya que de su correcto conocimiento dependen muchas infraestructuras planificadas por la ingeniería.

La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas de relieve, prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo a su geometría; es decir la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno (Lugo, 1988; Pedraza, 1996).



Esquema 001: Esquema metodológico para la obtención del Mapa de Pendientes. Fuente: Elaboración Propia.



El análisis de la pendiente del terreno se aplica para diversos fines: Determinar la capacidad agrológica de los suelos, en obras ingenieriles (aeropuertos, carreteras, urbanizaciones, sistemas de alcantarillado, infraestructuras de riego, etc.) o en geomorfología (en relación con fenómenos o eventos de erosión e inestabilidad de laderas, procesos que constituyen la geodinámica externa). Existen diversas clasificaciones de pendientes, sin embargo, de acuerdo a los rasgos y características observadas en el relieve del proyecto se establecieron 7 categorías (Tabla 004):

N°	Rango de Pendiente (%)	Descripción
1	0 - 4	Llano a ligeramente inclinado
2	4 - 8	Moderadamente inclinado
3	8 - 15	Fuertemente inclinado
4	15 - 25	Moderadamente empinado
5	25 - 50	Empinado
6	50 - 75	Fuertemente empinado
7	>75	Escarpado

Punto 1 = 2528 m.s.n.m.  
Punto 2 = 2503 m.s.n.m.  
Distancia horizontal = 70 m.

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Diferencia de alturas}}{\text{Distancia horizontal}} \times 100$$

$$P = \frac{25}{70} \times 100$$

$$P = 35.714$$

Tabla 004 (Izquierda): Clasificación de rangos de Pendiente. Fuente: Elaboración Propia. Gráfico 004 (Derecha): Metodología de cálculo de pendientes mediante Rango de Pendientes. Fuente: ZEE de Cajamarca.

**2.4.1. LLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 – 4) %.** Es la pendiente que predomina en el área urbana de la ciudad de Abancay (Foto 003), abarca una superficie aproximada de 7 183.76 has, lo que corresponde al 16.64 % del total de la superficie de nuestro estudio. Se encuentra ampliamente distribuido en toda el área urbana de la ciudad y en las partes altas de la cuenca, específicamente en el área con dominio glacio-lacustre. Geomorfológicamente las pendientes citadas están constituidas en su mayoría por terrazas aluviales, llanuras fluviales, terrazas fluviales y altiplanicies fluvioglaciales, lo que convierte a los bofedales y áreas periféricas a lagunas en zonas enteramente marcadas por pendientes ligeramente inclinados.



Foto 003: Vista de la ciudad de Abancay y del relieve circundante a la población. Al fondo, se observa el Nevado del Ampay. La ciudad de Abancay se asienta sobre una pendiente ligeramente inclinada a moderadamente inclinada.

**2.4.2. MODERADAMENTE INCLINADO (4 – 8) %.** Abarca una superficie aproximada de 15 504.94 has, es decir un 35.92 % de la superficie total del área comprendida por nuestro estudio. Estas pendientes se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de nuestro área de trabajo, siendo la segunda pendiente con mayor predominio. Gran parte de las áreas con pendientes moderadamente inclinados están restringidos a los terrenos llanos a ligeramente inclinados (Foto 003), lo que las disponen sobre unidades geomorfológicas recientes, tales como las terrazas fluviales y aluviales, algunas laderas con fuerte vegetación, colinas con alta presencia de material eluvial y zonas con dominio lacustre. Este tipo de pendiente es bastante usual en áreas inmediatas a las elevaciones como son los cerros y las colinas, que geomorfológicamente representan a las laderas medias.

**2.4.3. FUERTEMENTE INCLINADO (8 – 15) %.** La mayor parte del territorio abanquino presenta una configuración de relieve bastante accidentada, lo que convierte a su topografía con un predominio de laderas con pendientes fuertemente inclinados, ocupando estos más del 40 % del área de nuestro Estudio, con un aproximado de 17 702.59 has. Geomorfológicamente las pendientes con un fuerte grado de inclinación se dan en laderas con cobertura de especies vegetales menores como los arbustos y en aquellas laderas donde la presencia de rocas es mayor respecto a la vegetación. Las zonas donde existe el dominio de este tipo de pendientes se encuentran principalmente en las laderas que se hallan por encima del río Pachachaca en el sector de Karkatera, en el cerro Tinimpata y en las quebradas Collcas y Masuracana, ubicadas al nor-oeste de la ciudad de Abancay; otros áreas con gran dominio, son los flancos de los cerros Quisapata (Foto 004), Leqleccocho y Sondorutoc, ubicados al sur-este y este, respectivamente.



Foto 004: Vista de una parte de la ciudad de Abancay y al fondo, el cerro Quisapata, caracterizado por presentar pendientes fuertemente inclinados a moderadamente empinados.

**2.4.4. MODERADAMENTE EMPINADO (15 – 25) %.** Representa aproximadamente un 5% del área total de nuestro estudio, equivalente a unas 2 382.83 has, lo que significa que dichas pendientes se encuentran restringidas a ciertos lugares solamente, donde afloran rocas y la cobertura vegetal es muy escasa a casi nula, como lo es en las laderas del cerro Quisapata (Foto 004).

Estas áreas de acuerdo a nuestras exploraciones de campo se hallan en las laderas de quebradas bastante activas como son: Cancallayoc, Puruchaca, Masurcana y Sahuinto; ubicados en el sector oriental y sur de la ciudad de Abancay respectivamente. Sin embargo el sector de nuestro estudio donde tiene mayor presencia este tipo de pendiente es en la zona noroccidental, hacia el flanco oeste del Nevado del Ampay; geomorfológicamente lo comprenden las laderas rocosas.

**2.4.5. EMPINADO (25 – 50) %.** Los terrenos con pendientes empinadas representan cerca al 1% de la superficie total de nuestro estudio, equivalente a unas 337.08 has aproximadamente. Este tipo de pendiente es ya característico de las áreas donde se observan claramente los afloramientos rocosos y donde la presencia de suelos es nula a casi nula. Más del 90% de los terrenos con pendientes empinados se concentran en la zona noroccidental de la ciudad de Abancay, en los flancos del Nevado del Ampay, especialmente en el oeste y norte del mismo (Mapa 004 - Mapa de Pendientes), donde además de los afloramientos rocosos calcáreos y pelíticos, los estratos se encuentran con buzamientos verticales a semiverticales.

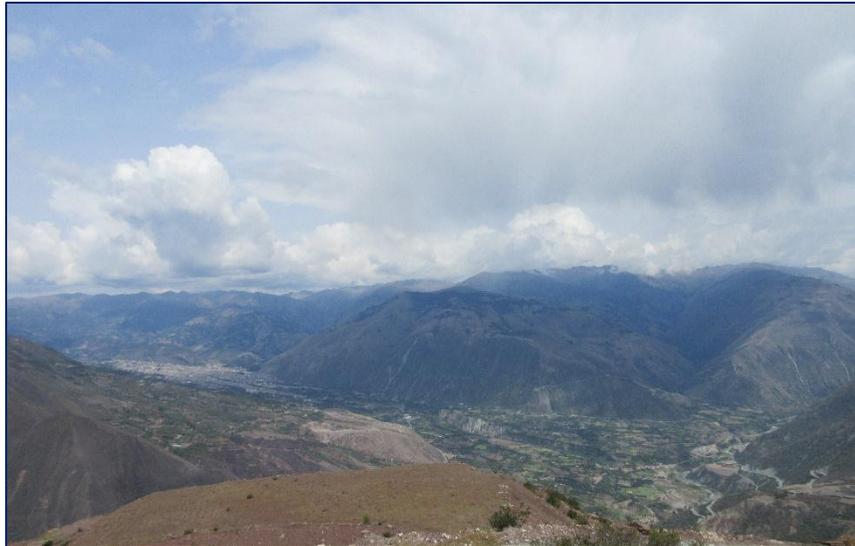
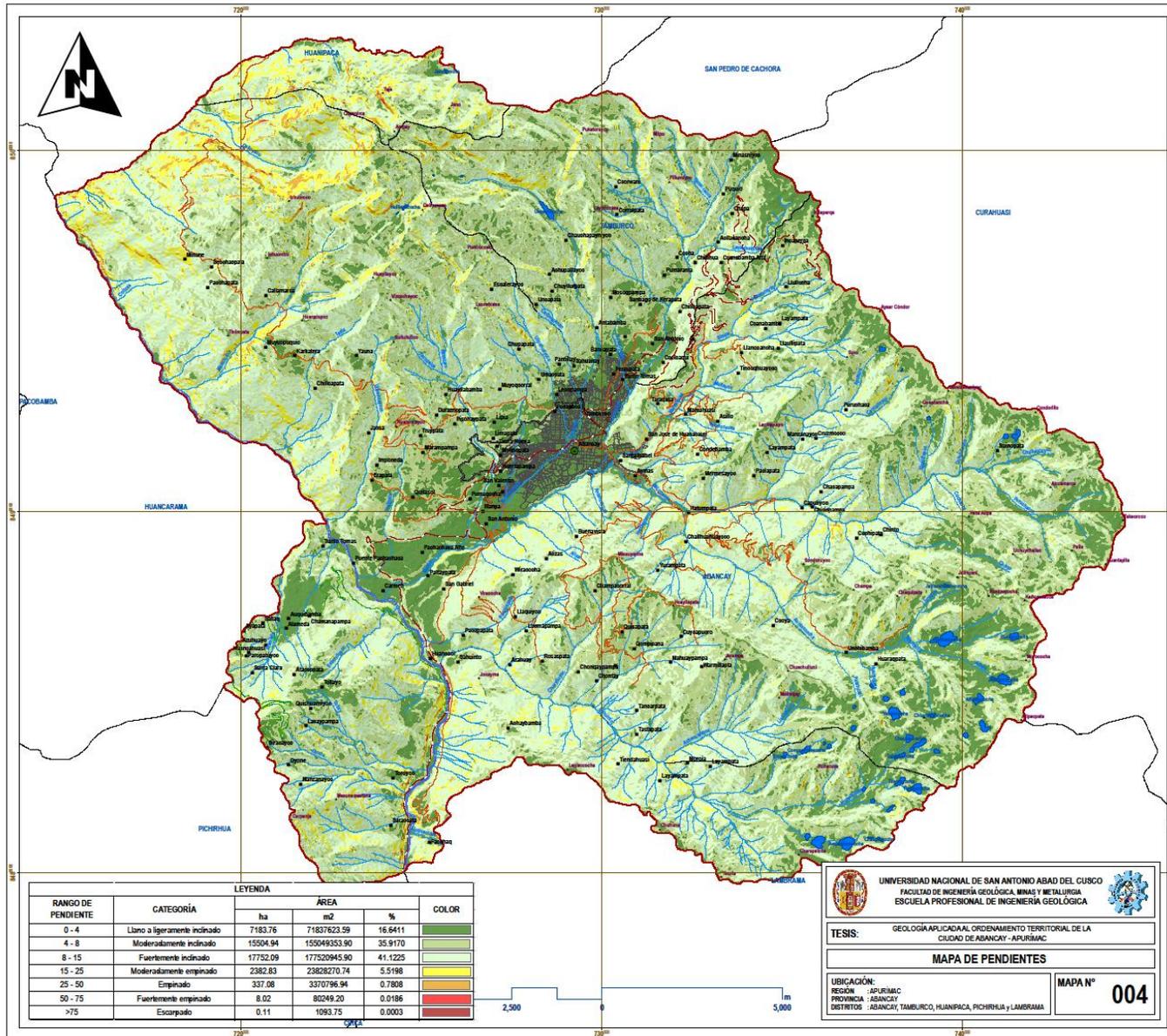


Foto 005: Vista panorámica del relieve y los tipos de pendiente circundantes a la ciudad de Abancay, en el fondo, además de la ciudad y todo el valle fluvio-aluvial del Mariño, se puede ver las montañas del Soccllaccasa y al lado oriental, el Cerro Quisapata.

**2.4.6. FUERTEMENTE EMPINADO (50 – 75) %.** Abarca una superficie aproximada de 8.02 has, equivalente a menos del 0.1% de la superficie total de nuestro estudio. Se concentran cerca de su totalidad, en el sector norte y noroccidental del Nevado del Ampay, donde se observan un predominio total de los afloramientos rocosos respecto al relieve de la superficie, la presencia de suelos eluviales es mínima. Otro sector donde presenta relieves con pendientes fuertemente empinados son los que se desarrollaron a partir de la erosión del río Pachachaca y cortes de talud de la carretera Chalhuanca-Abancay, en el sector de Saraccata y Sahuinto.

**2.4.7. ESCARPADO (>75 %).** Representa menos de 1 ha del total y menos del 0.001% de la superficie total del estudio. Su existencia se limita a áreas puntuales en el Nevado del Ampay, como son los cerros Taje e Ichuorcco, ambos conformantes del Complejo Estructural del Ampay. Estas pendientes son estrictamente afloramientos rocosos con una nula a casi nula presencia de especies vegetales.



**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**

**REFERENCIA**

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
 Cartas Geológicas Nacionales INEIMMET 1/100 000  
 Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
 Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
 Escala de Impresión: 1/70 000

Mapa: Mapa de Pendientes  
 Código de Mapa: MPEN

Elaboración y Diseño de Mapa:  
 Bach. Salazar Gutiérrez, Esau

Fecha: Octubre del 2018  
 Fuente: Elaboración Propia

**SIMBOLOGÍA**

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- Red Hidrográfica
- Lagunas
- Catastro Urbano

**RED VIAL**

- Via Nacional
- Via Regional
- Via Vecinal o Rural
- Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

**MAPA DE PENDIENTES**

UBICACIÓN:  
 REGIÓN : APURÍMAC  
 PROVINCIA : ABANCAY  
 DISTRITOS : ABANCAY, TAMBURCO, HUANCAPICA, PICHIRHUA Y LAMBRAMA

MAPA N° **004**

## CAPÍTULO III GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es una caracterización del relieve que hace contraste con la geología, donde la Cordillera de los Andes llega a ser la condicionante principal para el resultado actual de las formas del relieve. En base a criterios morfológicos, litológicos, pendientes y estructurales, se delimitaron las unidades geomorfológicas a nivel de unidades morfoestructurales, tomando en consideración la gran unidad geomorfológica, que es la Cordillera Andina; provincias geomorfológicas y sistema geomorfológico, donde este último se basa en el paisaje topográfico que muestran los relieves y el origen por lo que se formaron dichos paisajes (Tabla 005).

UNIDADES MORFOESTRUCTURALES					
GRAN UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA	SISTEMA GEOMORFOLÓGICO		UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	
		PASAJE	ORIGEN		
Cordillera Andina	Cordillera y Estribaciones	Montañoso	Estructural y Erosional	Cimas de Montaña	Cimas de Montaña
					Cima Allanada de Montaña
				Laderas de Montaña	Laderas rocosas fuertemente empinadas
					Laderas rocosas empinadas
					Laderas rocosas moderadamente empinadas
					Laderas rocosas fuertemente inclinadas
					Laderas empinadas
					Laderas moderadamente empinadas
					Laderas fuertemente inclinadas
					Laderas moderadamente inclinadas
	Laderas ligeramente inclinadas				
	Colinoso	Denudacional	Colinas	Colinas Altas	
				Colinas Bajas	
				Colinas Erosionadas	
		Diapirismo	Domos	Domos Salinos	
	Altiplanicies	Estructural	Terrazas Estructurales		
			Fluvioglacial	Agradacional	Fondos de Valle Fluvioglacial
	Altiplanicies Fluvioglaciales				
	Valles o Planicies de Sedimentación	Fluvial	Agradacional	Fondos de Valle Fluvial	
				Terrazas Fluviales	
Llanuras Fluviales					
Aluvial		Terrazas Aluviales	Terrazas Aluviales Altas		
			Terrazas Aluviales Bajas		
Quebradas					
Antrópico		Planicies Antrópicas			

Tabla 005: Clasificación de unidades geomorfológicas de nuestro estudio. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.1. CORDILLERA ANDINA

Constituye la unidad morfoestructural de mayor complejidad geológica y geomorfológica, representando además una de las zonas con mayor variabilidad litológica dentro del ámbito regional, siendo compuesto por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Así mismo esta gran unidad, en el dominio nacional presenta dos importantes complejos estructurales, las que son: La deflexión de Huancabamba y la deflexión de Abancay, y éste último interviniendo directamente en nuestro ámbito de estudio; dichas consecuencias primarias son los factores principales condicionantes para la actual configuración de la geomorfología local.

#### 3.1.1. CORDILLERA Y ESTRIBACIONES

Geomorfológicamente el área total de nuestro estudio forma parte de la gran unidad morfoestructural como es la Cordillera Andina, el mismo que comprende las diversas cadenas cordilleranas menores y estribaciones del país, que a su vez comprenden las diversas unidades geomorfológicas que cartografiamos en nuestro área de estudio, los mismos que detallamos a continuación:

**3.1.1.1. CIMAS DE MONTAÑA** Son unidades que se encuentran en los picos o cumbres de los relieves montañosos del proyecto, donde su extensión es bastante considerable; dichas unidades se deben a procesos erosivos de intemperismo físico constante, con una cobertura de suelo delgada, lo que favorece su mayor meteorización. La cobertura de suelo es del tipo eluvial, sobre un basamento rocoso subyacente de diversa litología y origen. Su presencia resalta sobre la geomorfología del área de trabajo.

Esta unidad está representado en dirección norte por el Nevado del Ampay (Foto 006), el cual se extiende desde los 4600 msnm, hasta su cumbre en los 5235 msnm y litológicamente está constituido por calizas del Grupo Copacabana; por otro lado en el este y sur-este, están representados por los cerros de Aysar Cóndor, Sombreruniyoc, Takeorcco, y Keñuaccacca (Foto 007), Allpacpata y Corralccasa respectivamente; la mayoría de ellos sobre una unidad ortognésica, correspondiente al Plutón de Abancay.



Foto 006 (Izquierda): Vista panorámica del relieve y los tipos de pendiente circundantes a la ciudad de Abancay, en el fondo se puede observar las cimas de montañas del Nevado del Ampay. Foto 007 (Derecha): Vista de la cimas de montaña en el dominio glacio-lacustre de nuestro Estudio, en el cerro Keñuaccacca, sector sur-este de la ciudad de Abancay.

**3.1.1.2. CIMAS DE MONTAÑA ALLANADA** La diferencia de estas unidades, respecto a las anteriores, radica en el predominio del proceso de allanamiento, hecho que constituye que las cimas rocosas y escarpadas adapten una configuración más ondulada y en donde gran parte de la litología rocosa aflorante es cubierto por suelo eluvial y ésta a su vez por vegetación característica de las altitudes que superan los 3500 msnm. La unidad es bastante restringida, sólo se ha cartografiado en el sector nor-oriental de la ciudad de Abancay, la cima del cerro Incaperqa, en el sector del abra Soccllaccasa.

**3.1.1.3. LADERAS DE MONTAÑA.** Debido a la configuración actual del relieve comprendido por nuestro estudio, las laderas de montaña representan más del 50% del total de la superficie, lo que además lo convierte en la unidad geomorfológica con mayor importancia, ya que constituye una condicionante para la ocurrencia de eventos de geodinámica externa.

Estas unidades constituyen los flancos terminales o declives de las cimas de montaña, las colinas y todo relieve positivo de considerable elevación de la topografía cordillerana, además de ser las unidades dominantes en las vertientes de los valles y quebradas (Foto 008). Su origen es eminentemente tectónico-estructural, pues todos forman parte de los grandes complejos montañosos. Litológicamente se componen de afloramientos de distinta naturaleza y de distintos períodos geológicos, cubiertos muchas veces por capas de depósitos cuaternarios de naturaleza coluvio-aluvial y en otros sectores dominados por afloramientos rocosos con escasa a nula presencia de cobertura vegetal.



Foto 008 (Izquierda): Valle del Pachachaca y las laderas circundantes al mismo, del cerro Jonayma y el sector de Saraccata.  
Foto 009 (Derecha): Muestra parte de la ciudad de Abancay, en el sector de San Antonio, y las laderas circundantes al casco urbano de la ciudad.

Las pendientes que presentan van desde ligeramente inclinadas a rocosas fuertemente empinadas. Este hecho limita bastante las actividades humanas que se dan en las laderas, especialmente en aquellas donde las pendientes son empinadas, fuertemente empinadas y las pendientes con dominio estrictamente rocoso. Es también por las pendientes empinadas y las grandes alturas de las colinas y montañas, que se pueden apreciar numerosos procesos erosivos intensos de disección, causantes además de la existencia de gran cantidad de quebradas que se registran dentro de nuestro Proyecto, por las que fluyen todo el material erosivo, los que son transportados por acción gravitatoria e hidrometeorológica.

Para nuestro estudio, las unidades de ladera se subdividieron de acuerdo a la pendiente que presentan y al predominio, ya sea de material rocoso o suelo que existe en la superficie, tal como a continuación se enumeran:

- Laderas ligeramente inclinadas.
- Laderas moderadamente inclinadas.
- Laderas fuertemente inclinadas.
- Laderas moderadamente empinadas.
- Laderas empinadas.
- Laderas rocosas fuertemente inclinadas.
- Laderas rocosas moderadamente empinadas.
- Laderas rocosas empinadas.
- Laderas rocosas fuertemente empinadas.

**3.1.1.4. COLINAS.** Se trata de elevaciones naturales del terreno con menor altitud respecto a las cimas de montaña, presentan por lo general perfiles suaves y redondeados como conos truncados (Foto 010). La génesis de esta unidad está asociada básicamente a eventos tectónicos, como la mayoría de los relieves positivos que configuran la topografía de la superficie terrestre; pero también deben su formación a eventos de sedimentación de una cuenca restringida, donde pueden alcanzar tamaños no muy considerables; de esta manera las colinas que se originan a partir de eventos tectónicos son los que alcanzan mayor altitud y tamaño, los cuales posteriormente serán configurados de acuerdo a su ubicación, ya sea por masas glaciares, ríos y quebradas o demás agentes erosivos.



Foto 010 (Izquierda): Muestra las colinas bajas en el sector de Muyocorral y Umaccata, al nor-oeste de la ciudad de Abancay.

Foto 011 (Derecha): Vista del flanco occidental del Complejo Estructural del Ampay, donde se puede observar las laderas fuertemente inclinadas, empinadas y el relieve colinoso del cerro Ichuorcco.

Para nuestro estudio se clasificaron las colinas de acuerdo a su altitud, en colinas altas y bajas y de acuerdo a su ubicación y configuración actual, como colinas erosionadas; éstas últimas, básicamente se cartografiaron en áreas con dominio glaciar, ligados estrechamente a las altiplanicies fluvio-glaciales, en el sector occidental y sur-occidental de la ciudad de Abancay, en el sector de Puruchacca, el cerro Condorillo y el sector de Runtoccocha, donde básicamente están constituidos por rocas ortogneísicas del Plutón de Abancay; en cambio las colinas altas se evidencian o forman parte en su mayoría del Nevado del Ampay (Foto 011),

como son los cerros Pukatorayoc, Milpo, Qelloccasa e Hichuorcco, también se presentan en el sector sur-occidental de la ciudad de Abancay, el cerro Siracayoc y Leqleccocho; por otro lado las colinas bajas, presentan una configuración de lomas, formados básicamente por eventos de sedimentación, se pueden observar en las periferias del casco urbano de Abancay, en el sector de Muyocorral (Foto 010), en dirección nor-oeste y el sector de Taraccasa y Ccanabamba baja, ambos en dirección nor-este.

**3.1.1.5. DOMOS.** Se refiere a un relieve con una ligera elevación suavemente ondulado y redondeado, que su origen se debe a diversos agentes geológicos, en ocasiones es formado por fuerzas de compresión que actúan sobre rocas plásticas formando un relieve convexo que estructuralmente adopta la forma de un anticlinal; en otras ocasiones los domos deben su origen a procesos ígneos como las intrusiones plutónicas que dan forma a batolitos y lacolitos y otros formados por lavas volcánicas bastante densas, que se comportan como tapones oculares en el cráter de un volcán o fisuras en el terreno, otorgándole un relieve dunoide a la superficie; y finalmente están los formados estrictamente por material geológico, en este caso los causantes son los yesos que por efectos diapíricos tienden a generar relieves en forma de domos como se da en nuestro estudio.

El domo en nuestra zona de trabajo, debe su origen a un proceso diapírico. Compuesto básicamente por yesos y materiales calcáreos, a dicho domo se le denominó el Domo de Quitasol (Foto 012), debido a la ubicación en el que se encuentra, sector de Quitasol, ubicado en al sur-oeste de la ciudad de Abancay.



Foto 012: Vista del domo de Yeso en el sector de Quitasol, el cual resalta claramente sobre la terraza aluvial de Abancay, tanto por su litología y la cobertura vegetal de los mismos.

### 3.1.2. ALTIPLANICIES

**3.1.2.1. TERRAZAS ESTRUCTURALES.** Se trata de superficies allanadas de erosión o de sedimentación colgadas en vertientes o laderas montañosas que evidentemente sobresalen sobre el relieve de pendientes circundantes. El origen de estas unidades es eminentemente

geológico, pues se han originado por procesos tectono-estructurales y principalmente por eventos de geodinámica externa, tales como deslizamientos de cuerpos rocosos y/o sedimentos, ya sea por incompetencia entre unidades litológicas, por desplazamientos a través de sistemas de fallas o por derrumbes debido a erosión intensa y profunda en taludes.

Frecuentemente las terrazas estructurales presentan un escarpe de falla que con frecuencia se encuentra cubierto por suelo y cobertura vegetal. Las extensiones de estas unidades son bastante limitadas dentro de nuestro estudio, ocupando pequeñas áreas, como las que se observa en el sector de Yauna, en los cerros Sulluhuilco y Tinimpata, ubicados en la zona nor-occidental de la ciudad de Abancay, también se pueden observar estas terrazas en el sector de Ccocha, Pumaranra y Asilo, en dirección nor-oeste y este de la ciudad de Abancay.

**3.1.2.2. FONDOS DE VALLE FLUVIOGLACIAL.** Presentan una morfología del tipo depresional longitudinal y extensa, con un ancho amplio formando valles en “U”. Son el producto de una erosión de eventos sucesivos, como son la erosión primaria por masas glaciares y consecuente erosión hídrica, donde el movimiento de las masas gélidas socavan la superficie generando valles glaciares amplios. Estos fondos atraviesan diversas unidades litológicas disectándolas y develando su naturaleza rocosa, los cuales en ocasiones se encuentran cubiertas por material morrénico, sin embargo, la base por lo general se encuentra dominada por bofedales, suelos limoarcillosos o por la fuerte presencia de cobertura vegetal (Foto 013). Estas unidades se encuentran por encima de los 3500 msnm.

La evidencia de estos procesos erosivos y en consecuencia de estas unidades geomorfológicas, en nuestro proyecto, son bastante resaltantes en la topografía, como se da en el sector comprendido por el Nevado del Ampay, en los cerros Milpo y Pukatorayoc, además constituyen estas unidades el canal de la laguna Uspayccocho y la quebrada Qelloyacuyoc, ésta última forma parte del canal de desague del flanco oeste del Nevado del Ampay. Al igual que en la zona norte y nor-oeste de la ciudad de Abancay, también podemos observar estas unidades en el sector oriental y sur-oriental de la ciudad, donde además existe un predominio de lagunas y áreas de bofedales.

**3.1.2.3. ALTIPLANICIES FLUVIOGLACIALES.** Son superficies llanos a ligeramente inclinados que se encuentran en las partes altas de las montañas o cabeceras de cuenca, en ocasiones con presencia de lagunas estacionales y otras por dominio de bofedales (Foto 014). Estas geoformas presentan una génesis de labrado abrasivo por los procesos de dinámica glaciar, formando altiplanicies extensas interrumpidas por elevaciones montañosas de afloramientos rocosos y delimitados por depósitos morrénicos. Generalmente las altiplanicies constituyen bofedales, ya que además son muestra de áreas que en el pasado significaron depósitos del deshielo de nevados y actividad erosiva de los mismos; hecho que a la actualidad se traduce en la basta presencia de cobertura vegetal, especialmente de pastizales y otros arbustos menores. En algunas zonas con presencia de estas unidades, se pueden observar cursos de riachuelos a veces estacionales, alimentados por los deshielos y por lagunas.

Las altiplanicies fluvioglaciales están constituidos por sedimentarios morrénicos cuaternarios allanados por la erosión glaciar, y también por sedimentos fluvioglaciales que pueden observarse como acumulaciones cuaternarias, básicamente material limoarenoso y arcilloso debido a la eutrofización que se da en dichas áreas. En nuestra zona de trabajo, estas

unidades son bien marcados debido a la ligera pendiente que presentan en zonas donde el predominio rocoso y lagunar es evidente, como es en el sector sur-oriental y oriental de la ciudad de Abancay, principios de las quebradas Huayllapata, Alfalla (Foto 014), Michincca, Patahuasi, Llantupa, Chinto, Cuchacca, Apusura y Siputillayoc; además de algunas áreas en el Nevado del Ampay.



Foto 013 (Izquierda): Fondos de valle fluvio-glacial en el sector de Unchibamba, donde desagua sus aguas la laguna Runtococha en el sector sur-este de la ciudad de Abancay. Foto 014 (Derecha): Vista de altiplanicies fluvio-glaciales controlados por las elevaciones rocosas, en el sector de Morococha, al sur-este de Abancay.

### 3.1.3. VALLES O PLANICIES DE SEDIMENTACIÓN

**3.1.3.1. FONDOS DE VALLE FLUVIAL.** Estas unidades se refieren a los cauces o áreas por donde discurren los ríos, en nuestro estudio, se determinó como única unidad, el área por donde cursa sus aguas el río Pachachaca, que se extiende desde la ciudad de Chalhuanca hasta desembocar en el río Apurímac; riega con sus aguas parte del valle aluvial de Abancay y el valle fluvial del Pachachaca (Foto 015). Como es natural los fondos fluviales están constituidos por bloques rocosos, gravas y arenas finas, estrictamente transportados por ríos.

**3.1.3.2. LLANURAS FLUVIALES.** Estas unidades se encuentran ubicadas inmediatamente a ambos márgenes de los fondos fluviales o cursos de los ríos, disponiéndose como llanuras, que en períodos de crecidas, muchas veces son inundables, de ahí que también se les puede denominar como llanuras fluviales inundables. Son de naturaleza estrictamente fluvial, cuya composición litológica está formada por sedimentos arenosos, limosos con gravas, clastos y bloques redondeados. Dichas llanuras se encuentran casi a nivel de los ríos y ocasionalmente por encima del mismo en un promedio de 1m, para nuestro estudio, el Pachachaca (Foto 016) y el Mariño, presentan dichas unidades. Sus pendientes son nulas o ligeramente inclinadas, todos dependientes del curso topográfico de los ríos.

**3.1.3.3. TERRAZAS FLUVIALES.** Estas unidades se encuentran ubicadas inmediatamente a continuación de las llanuras fluviales o los cauces de río. Al igual que los fondos de valle fluvial y las llanuras fluviales; también sólo se las puede hallar en las áreas de influencia del río Pachachaca (Foto 016), que se encuentra en la zona occidental de la ciudad de Abancay. Las terrazas fluviales en un principio formaron parte de los fondos de valle fluvial, posteriormente

se convirtieron en llanuras fluviales hasta que terminan siendo terrazas fluviales y continuando con la activa dinámica de los ríos, éstos serán de 1°, 2° y 3° orden, y así sucesivamente dependiendo también del proceso orogénico de los andes. Su litología está conformada por sedimentos arenosos, limosos con gravas y clastos redondeados.



Foto 015 (Izquierda): Fondo de valle fluvial del río Pachachaca. Foto 016 (Derecha): Vista del ambiente fluvial del río Pachachaca, representado por la llanura fluvial y las terrazas fluviales, donde se observan los trabajos de extracción, chancado y clasificación de agregados. Ambas fotos responden al sector del Puente colonial del Pachachaca.

**3.1.3.4. TERRAZAS ALUVIALES.** Son unidades llanas a ligeramente inclinadas de naturaleza sedimentaria y se presentan como áreas depositadas por acción gravitatoria e hidrometeorológica en la zona de desagüe o pie de monte de las quebradas y/o montañas. Estas geoformas representan una clara estratigrafía de deposición, ya que se suceden una con otra constantemente de acuerdo al accionar geodinámico de las quebradas. Muchas veces estas unidades son propicias para las actividades agrícolas y asentamientos urbanos como es el caso de la ciudad de Abancay, que se halla sobre una sucesión de eventos aluviales que dieron lugar a una gran terraza aluvial (Foto 017). Asimismo tenemos el poblado de Auquibamba, ubicado en el sector sur-occidental de la ciudad de Abancay; que también se halla sobre una terraza aluvial. Litológicamente las terrazas aluviales se componen de materiales clásticos bien trabajados, subredondeados a subangulosos de diverso tamaño, en una matriz arenolimsa y/o arcillosa.

Tomando en consideración el área de estudio y la topografía de este, clasificamos las terrazas aluviales en: Terrazas aluviales altas y Terrazas aluviales bajas; tomando en cuenta la altura o los metros sobre el nivel del mar a la que se encuentran.

**3.1.3.5. QUEBRADAS.** Presentan una morfología de tipo depresional con un relieve generalmente longitudinal y un ancho muy reducido. Esta morfología es el producto directo de la erosión fluvial como principal agente geodinámico activo, el cual aprovecha la existencia de sistemas de fallas o de algún otro sistema estructural para iniciar el trabajo erosivo y así convertirlo en un relieve con un alto accionar geodinámico. Las quebradas al igual que los fondos de valle atraviesan diversas unidades litológicas develando así su naturaleza rocosa y la estratigrafía de las estructuras litológicas presentes. Además de ello las quebradas son las pruebas latentes que indican el estado activo de los eventos geodinámicos.

En nuestra área de trabajo, de acuerdo a la configuración actual del relieve que presenta, podemos observar muchísimas quebradas, las cuales muchas de ellas se encuentran muy activas representando así, un peligro para la ciudad de Abancay respecto a eventos de geodinámica externa y eventos hidrometeorológicos.

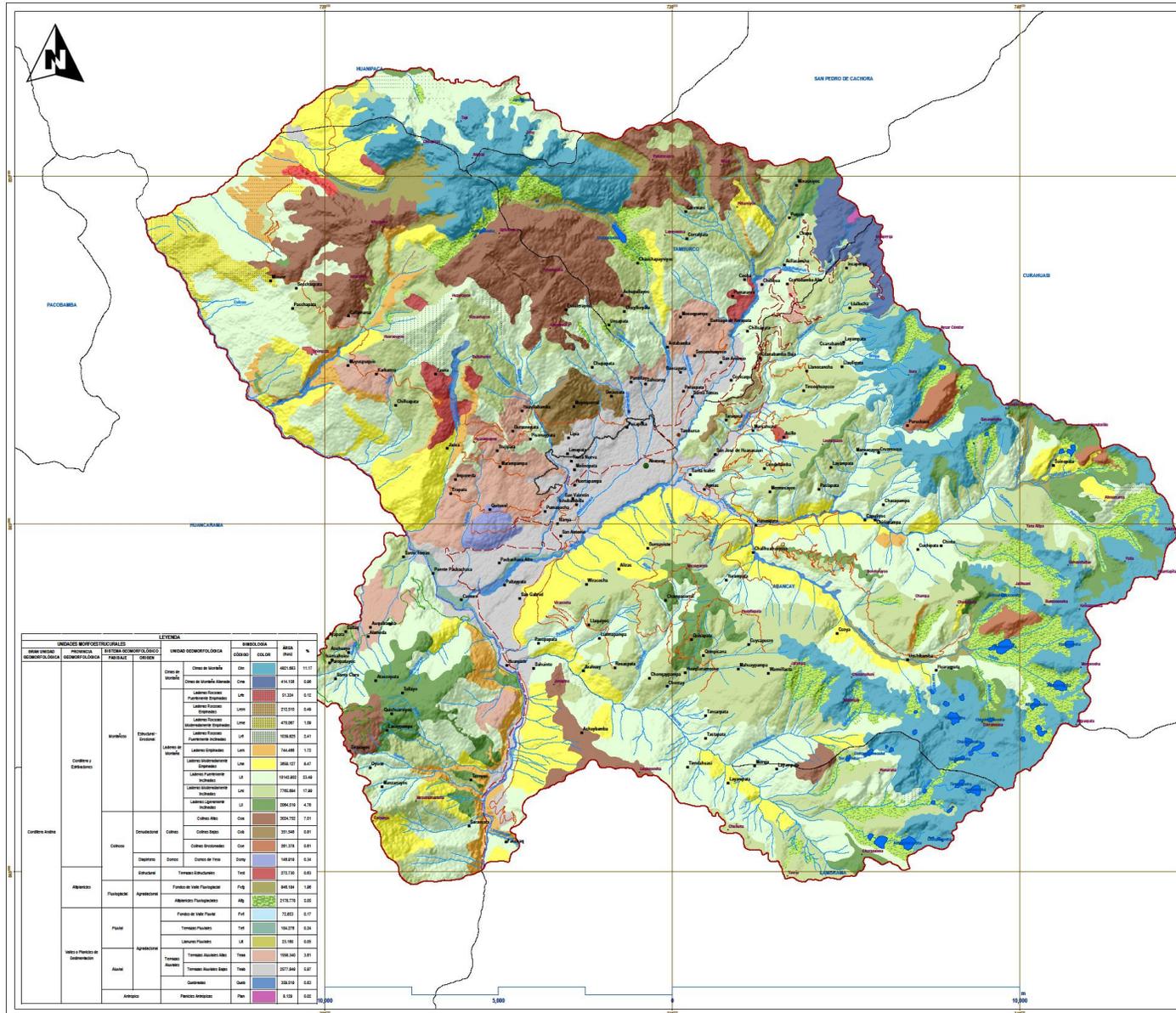


Foto 017: Vista panorámica de las planicies de sedimentación en el valle fluvio-aluvial de la ciudad de Abancay. También se puede observar toda la geomorfología presente que circunda a la ciudad y sus alrededores.

**3.1.3.6. PLANICIES ANTRÓPICAS.** Se refieren a áreas llanas o ligeramente inclinadas causadas por actividades del hombre. Para nuestro estudio, esta unidad se determinó en el sector nor-este de la ciudad de Abancay, cerca al abra de Socclaccasa, dicho área, fue causado o generado para la construcción de un Terminal Aéreo (Foto 018) del Gobierno Regional de Apurímac, proyecto que no pudo ser viabilizado por muchos factores que hacían imposible su construcción.



Foto 018 (Derecha): Vista de la Plataforma o Planicie construida con fines aéreos en el sector de Socclaccasa.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
 Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1/100 000  
 Centros Públicos: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Públicos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 5  
 Proyección y Datum: Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o UTM Horizontal: 18 Sur  
 Escala de Análisis: 1/10 000  
 Escala de Impresión: 1/50 000  
 Mapa: Mapa Geomorfológico  
 Código de Mapa: MISCIM  
 Elaboración y Diseño de Mapa: Bach. Salazar Quiroz, Esai  
 Fuente: Elaboración Propia

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
  - Capital Distrital
  - Población
  - Límite Distrital
  - Cerros
  - Área de Estado
  - Red Hidrográfica
  - Lugares
- RED VIAL
- Via Nacional
  - Via Regional
  - Via Vecinal o Rural
  - Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - JURISDICC.

MAPA GEOMORFOLÓGICO

UBICACIÓN: PROVINCIA DE ABANCAY, DISTRITO DE ABANCAY, PERÚ

MAPA N° 005

## CAPÍTULO IV ESTRATIGRAFÍA, ROCAS ÍGNEAS y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 4.1. ESTRATIGRAFÍA

La geología tomada desde la perspectiva estratigráfica de nuestro estudio, se caracteriza por presentar una clara división y/o dominio litológico-estructural, por una parte, de rocas estrictamente sedimentarias y por otra por rocas de naturaleza ígnea intrusiva; los que incluso condicionan mucho la configuración del relieve. Los afloramientos rocosos presentes en el área de estudio, no representan gran diversidad, centrándose principalmente en calizas del grupo Copacabana y rocas intrusivo-metamórficas del Plutón de Abancay (Tabla 006), los que configuran más del 70% del total del área de trabajo.

ESTRATIGRAFÍA DEL PROYECTO							
EONOTHEM EÓN	ERATHEM ERA	SISTEMA PERÍODO	SERIE ÉPOCA	EDAD	UNIDADES GEOLÓGICAS		
					SEDIMENTARIOS Y METAMÓRFICOS	SÍMBOLO	
FANEROZOICO	CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno		Depósitos Fluviales	Qh-fl	
					Depósitos Aluviales	Qh-al	
					Depósitos Coluviales	Qh-co	
				Depósitos Fluvioaluviales	Qh-fa		
				Depósitos Coluvioaluviales	Qh-ca		
				Depósitos Fluvioglaciales	Qpl-fg		
			Neógeno	Pleistoceno		Depósitos Morrénicos	Qpl-mo
					Plioceno		
					Mioceno		
			Paleógeno	Oligoceno			
					Eoceno		
					Paleoceno		
		MESOZOICO	Cretácico	Superior	65,5 +/- 0,3	Fm. Ausangate	KsPp-au
					99,6 +/- 0,9	Fm. Arcurquina	Kis-ar
				Inferior		Fm. Murco	Ki-mu
					145,5 +/- 4,0	Grupo Yura	Fm. Hualhuani
			161,2 +/- 4,0	Fm. Gramadal	Js-yu/gr		
				Fm. Labra	Js-yu/la		
			Fm. Puente	Jm-yu/pu			
			Jurásico	Superior		Fm. Socosani	Jm-so
					175,6 +/- 2,0	Inferior	
				199,6 +/- 0,6	Grupo Mitu		Unidad Volcánica
				228,0 +/- 2,0			
			Triásico	Superior		Orgtogneis de Abancay	Tr-ojn
		245,0 +/- 1,5					
		Inferior					
			251,0 +/- 0,4	Grupo Copacabana	Unidad Superior	Pi-cs	
			260,4 +/- 0,7		Unidad Inferior		
		270,6 +/- 0,7	Pi-ci				
		Pérmico	Lopingiano	299,0 +/- 0,8			
			Guadalupiano				
			Cisuraliano				
	Carbonífero - Devónico - Silúrico - Ordovícico - Cámbrico						
	PRECÁMBRICO			542,0 +/- 1,0			
				1000			

Tabla 006: Columna estratigráfica y escala cronológica de las formaciones geológicas del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

La estratigrafía de nuestro área de estudio, tal como lo muestra la tabla anterior, está caracterizada principalmente por el afloramiento de las rocas calcáreas del grupo Copacabana, la unidad Volcánica del grupo Mitu, el ortogneis de Abancay y los depósitos aluviales, sobre la que se asienta la mayor parte de la población abanquina. Para efectos del presente trabajo, dichas unidades estratigráficas se describen tomando el aspecto cronológico de los mismos, como se describen a continuación:

**4.1.1. ERA PALEOZOICA.** Está representado por rocas del paleozoico superior del grupo Copacabana. Y como en gran parte del territorio nacional, forma parte del flanco oriental de la cadena montañosa de los Andes, además de aflorar en grandes extensiones y potencias en todo lugar donde se evidencian dichas rocas, como lo es en el caso de nuestro estudio.

**4.1.1.1. GRUPO COPACABANA.** Esta unidad estratigráfica fue primeramente descrita como formación Copacabana por Cabrera, La Rosa A. y Petersen, G. (1936) en la península del Copacabana, en la parte Boliviana del lago Titicaca, donde está constituida esencialmente por calizas; posteriormente Dumbar, C. y Newell, N. (1946) lo elevaron al rango de grupo.

Las rocas del grupo Copacabana afloran ampliamente en el sector norte y nor-oeste de la ciudad de Abancay, específicamente en toda el área comprendida por el Santuario Nacional del Ampay y sus áreas periféricas, lugares donde las rocas se caracterizan por la basta presencia de fracturas, fallas y pliegues.

Litológicamente en el grupo Copacabana se pueden diferenciar dos secuencias bien marcadas: la secuencia inferior compuesta por calizas mudstone y grainstone de coloración gris y gris oscuro, y la secuencia superior, compuesta por calizas intercaladas con rocas detríticas como lutitas, areniscas y limolitas.

**a) SECUENCIA INFERIOR (Pi-ci).** Esta secuencia está constituida por calizas grises, gris oscuras y algunos niveles de lutitas negras fisibles muy bien estratificadas. Las calizas son de grano fino "Mudstone" y de grano grueso "Grainstone" (Foto 019) con niveles de margas. Las calizas mudstone (Foto 020) son bastante potentes y más oscuras en referencia a los grainstone, ya que se intercalan con niveles de pelitas negras. Presentan abundantes faunas fósiles como crinoides, braquiópodos y corales. Por la presencia de fósiles como braquiópodos se sugiere un ambiente deposicional nerítico de aguas calientes.

Las calizas de la secuencia inferior del grupo Copacabana, afloran en el núcleo del Nevado del Amay. En los sectores de Huayllabamba, Karkatera y el cerro Ichuorcco, en el lado nor-oeste de la ciudad de Abancay, los afloramientos son mayormente de potentes estratos de calizas grises a gris blanquecinas, con algunos niveles de lutitas y limolitas negruzcas, todos altamente afectados tectónicamente, ya que se observan numerosos pliegues, slumps en las rocas pelíticas, fallas, y donde los estratos se observan con un buzamiento sub-vertical.

En el área del proyecto, junto a la secuencia superior, llegan a ser uno de los afloramientos más importantes, ya que condicionan la composición química de las aguas subterráneas y superficiales que se originan en el Santuario Nacional del Ampay. Además son las rocas que tienen su dominio en todo el lado norte y nor-oeste del Proyecto. Estructuralmente las calizas de la secuencia inferior, forman parte de los núcleos de los pliegues que se tienen en el Complejo Estructural del Ampay.



Foto 019 (Izquierda): Afloramiento de calizas masivas en el sector de Qelloyacu, al fondo el Nevado del Ampay. Foto 020 (Derecha): Estratos de calizas altamente fracturados en el sector del cerro Milpo, norte de la ciudad de Abancay.

- b) **SECUENCIA SUPERIOR (Pi-cs)**. Presenta una secuencia de lutitas negras y grises (Foto 021) con abundantes fósiles intercalado con niveles de areniscas arcósicas blanca y gris de grano fino a medio con laminación paralela, a la base, donde también se pueden presenciar nódulos redondeados en lutitas negras intercalados con niveles de calizas masivas y a la parte superior los afloramientos de calizas son mayores, relegando así a los estratos de lutitas, limolitas y areniscas grises. Las calizas de esta secuencia, son masivas a la base y estratificadas hacia el techo; forman parte importante del Complejo Estructural del Ampay, que a su vez forma parte de uno de los flancos de la Deflexión de Abancay.

En el área de estudio, esta unidad aflora ampliamente infrayaciendo a las rocas volcánicas del grupo Mitu. Sus afloramientos se observan claramente en los sectores de Umaccata, Sahuanay-Panyillay y Ccorhuani, donde las rocas son lutitas grises a negruzcas, limolitas bastante fisibles de coloración negruzca, bien estratificados, con niveles de calizas grises caóticas. En tanto se avanza en dirección norte y nor-oeste, las lutitas y limolitas van disminuyendo sus volúmenes, donde son más fisibles, negruzcos y muy bien estratificados, en tanto las calizas aumentan con sus afloramientos grises (Foto 02).



Foto 021 (Izquierda). Intercalación de lutitas y limolitas grises y negruzcas bien estratificadas en el sector de Huayllabamba. Foto 022 (Derecha): Afloramientos de estratos potentes de calizas gris blanquecinas en el sector de Karkatera.

**4.1.2. ERA MESOZOICA.** El Mesozoico del área de trabajo, está constituido principalmente por rocas intrusivo-metamórficas del plutón Abancay, el Grupo Mitu, la Fm. Socosani, el Grupo Yura (Fm. Puente, Fm. Labra, Fm. Gramadal y Fm. Hualhuani), Fm. Murco, Fm. Arcurquina y la Fm. Ausangate. Litológicamente predominan las rocas ortogneísicas del Plutón Abancay, calizas, areniscas y limoarcillitas de las formaciones sedimentarias Jurásicas y Cretácicas, los que afloran en el sector este y nor-este de la ciudad de Abancay, en áreas de cabecera de la microcuenca Mariño.

**4.1.2.1. ORTOGNEIS ABANCAY (Tr-ogn).** Conocido también como el Plutón Abancay, está compuesto por un ortogneis cuarzodiorítico, que se halla en la margen izquierda del río Mariño iniciando su afloramiento en el sector de Condebamba, que se encuentra en la confluencia de las aguas del río Ccolcaqui sobre el Mariño. Estas rocas abarcan cerca del 50% del total de la superficie de nuestro estudio, aflorando predominantemente en la zona sur, sur-este y sur-oeste de la ciudad de Abancay, donde el relieve de este último, presenta un dominio glaciolacustre, caracterizado por la gran presencia de lagunas.

Marocco (1975) estudió por primera vez este cuerpo rocoso y en una primera interpretación dedujo que debido a que las rocas presentan orientaciones de sus minerales así como su alternancia en bandas, estas rocas eran de edad precámbrica. Pero posteriormente estimó a este plutón como sintectónico de edad Eocena. Finalmente, menciona que el plutón Abancay está compuesto por un ortogneis cuarzodiorítico de edad eoherciniana (Triásico superior), intensamente tectonizado y deformado sobre una roca ya enfriada.

Carlier et al. (1982) consideró al Plutón Abancay como una cuarzodiorita correspondiente a una intrusión posttectónica, posterior a la tectónica hercínica (Devónico superior - Pérmico superior) y deformada intensamente “En estado sólido” después de su emplazamiento, transformándose así en ortogneis, así mismo menciona que habría sido generado a partir de una diorita. Este Ortogneis, está compuesto por metagranodiorita, metatonalita, cuarzomonzoleucogabros y ortogneises (Foto 023). De acuerdo a sus características petrográficas, metamórficas y estructurales ha sido dividido en dos zonas estructurales: Zona deformada situada al norte, y la zona poco deformada al sur y sur-este que corresponde a la mayor parte del plutón. Las rocas generadas en la zona deformada, son de ortogneis anfibolítico y ortogneis con plagioclasas y cuarzo. En el ortogneis anfibolítico se observan cristales de plagioclasa, anfíbol y epidota orientados en condiciones de alta temperatura. En una etapa final con baja temperatura se generan incrementos de fluidos relacionados a la fuerte deformación, que forman vetas compuestas de clorita y epidota que generalmente cortan la foliación principal. Por otro lado la zona poco deformada está compuesta por metagranodiorita, metatonalita, cuarzomonzoleucogabro y ortogneis (Foto 024); la mayoría de estas rocas todavía preservan las texturas ígneas iniciales; aquí se observan generalmente foliaciones magmáticas y foliaciones tectónicas.

Las rocas del Plutón Abancay, tal como lo indica Carlier y también hicimos mención a principios del presente capítulo, es una unidad ígnea-intrusiva y metamórfica, ya que en diversos sectores como es el caso de Quisapata, en el cerro Huayllapata, los protolitos como las dioritas, se conservan manifestando una nula o mínima acción metamórfica, sin embargo en el mismo sector existen áreas donde ya se evidencia el ortogneis, muchas veces altamente meteorizado, en una transición roca-suelo.

El afloramiento del Plutón Abancay, es controlado al norte por la Falla Abancay-Curahuasi, que condiciona la deformación y el metamorfismo del mismo, y en el borde este y oeste de su afloramiento es controlado por intrusivos del Batolito Andahuaylas-Yauri.



Foto 023 (Izquierda): Afloramiento de rocas ortognésicas del plutón Abancay, altamente fracturados en el sector del puente Sahuinto. Foto 024 (Derecha): Textura gnéisca del ortogneis de Abancay, en el sector de San Gabriel.

En el Estudio, las rocas del Plutón Abancay, afloran ampliamente, desde el sector de Saraccata, San Gabriel (Foto 024), hasta el poblado de Marcahuasi, donde es intruido por los plutones monzograníticos de Lambrama-Marjune; lo que supone que toda la composición lítica del Cerro Quisapata es estrictamente Ortognésica (Foto 025), que en la base, las rocas presentan una textura metamorfozada correspondiente a un gneis, sin embargo a medida que se asciende en el terreno se pueden observar texturas ígneas de la metagranodiorita conjuntamente con texturas gnésicas variando así de un punto a otro, y ya a mayor altitud, las rocas ígneas-metamórficas se hallan altamente meteorizados (Foto 026), como en el poblado de Quisapata, donde se pueden ver suelos limosos a arcillosos; sin embargo a medida que se transita más al sur-este de la ciudad de Abancay, por el sector de Rontoccocha, las rocas vuelven a tener una textura gnésica e ígnea, con mayor predominancia de ésta última.



Foto 025 (Izquierda): Rocas ortognésicas en el sector de San Gabriel, a la altura del río Mariño. Foto 26 (Derecha): Rocas del Plutón Abancay, altamente meteorizados, claramente se observa la transición de roca a suelo, en el sector de Quisapata.

**4.1.2.2. GRUPO MITU (TsJi-mi).** El nombre Mitu fue creado por McLaughlin en 1924, porque en quechua significa lodo, aluvión. Según los lugares donde afloran, en forma muy variable, dos unidades litológicas una volcánica y otra sedimentaria, en nuestro área de trabajo, aflora con sus dos secuencias litoestratigráficas. El grupo corresponde a una edad Triásica superior a Jurásico inferior, sin embargo la unidad volcánica, de acuerdo a los últimos estudios realizados en el Cuadrángulo del Cusco por parte del INGEMMET, tiene una edad Jurásica inferior.

Las secuencias volcánicas del grupo Mitu están constituidas hacia la base por brechas y derrames lávicos de naturaleza andesítica y basáltica de color gris oscuro (Foto 028), intercalada con tobas soldadas; hacia la parte media, se compone de areniscas, limolitas (Foto 027) y conglomerados de coloración parduzca. La secuencia volcánica en cuanto a su potencia es variable y sobreyace en fuerte discordancia erosional al grupo Copacabana.

La morfología que presenta el grupo Mitu es bastante abrupta, e incluso presenta escarpas subverticales, tal como se puede observar en el sector de Minune, en la quebrada Huanusqui, ubicados en el nor-oeste de la ciudad de Abancay; otra característica destacable es la coloración rojiza y violácea (Foto 027), que sirve para diferenciarlas fácilmente en el campo.

Los afloramientos del grupo Mitu, se dan principalmente en el borde norte, nor-este y nor-oeste de la ciudad de Abancay, a inicios de la zona de amortiguamiento y/o Santuario Nacional del Ampay; las rocas constituyentes se encuentran altamente fracturadas, hecho que las convierte en buenos materiales de interés para estudios hidrogeológicos, además que presentan vasta cobertura vegetal, pero también se hallan dominados por el accionar de movimientos en masa que sumados a las pendientes, dan lugar a depósitos coluviales. Sus afloramientos tienen una dirección nor-este a sur-oeste, empezando en el sector de Jacsa, pasando por Pisonaypata, Muyoqcorral, Mosoqpampa y Minasniyoc, en este último infrayace discordante a las calizas de la Fm. Socosani.



Foto 027 (Izquierda): Afloramiento de lutitas y areniscas rojizas, típicos del Grupo Mitu, en el sector de Sahuanay. Foto 28 (Derecha): Rocas basálticas, infrayaciendo a estratos lutáceos, en el sector de Imponeda y Erapata, sector oeste de Abancay.

**4.1.2.3. FORMACION SOCOSANI (Jm-so).** BENAVIDES V. (1962), "Estratigrafía Pre-Terciaria de la Región de Arequipa". En el Boletín de la Sociedad Geológica del Perú 75; esta unidad, se trata de una secuencia de calizas grises oscuras con niveles de limoarcillitas y areniscas grises hacia la base; y hacia el tope, pelitas negras y niveles de calizas con presencia de fósiles.

En el área de Estudio, la Fm. Socosani, restringe su afloramiento al sector nor-este de la ciudad de Abancay, en el poblado de Ccolcaqui, Chillihua, Ccanabamba Alta (Foto 030), Chapa y Puquio. Sobreyace en leve discordancia al grupo Mitu e infrayace también en ligera discordancia a la Fm. Puente en el cerro Incaperqa, sin embargo en el poblado de Ccanabamba Baja, las rocas calcáreas son intruidas por Monzogranitos del plutón Lambrama-Marjune y rocas gabraicas del plutón Cotabambas-Curahuasi.

Las rocas que constituyen a la Fm. Socosani en nuestra zona de estudio, son básicamente calizas grises oscuras (Foto 029) con niveles erráticos de pelitas negruzcas. Las calizas generalmente son del tipo Wackstone y Packstone. La potencia de esta secuencia estrigráfica es variable, debido a la actividad tectónica de la Falla Abancay-Curahuasi, la cual hace repetir las secuencias de esta formación, por lo que se estima un espesor considerable de 200 m.



Foto 029 (Izquierda): Calizas gris blanquecinas de la Fm. Socosani en el sector del Mirador de Taraqasa. Foto 30 (Derecha): Afloramientos estratificados e intensamente fracturados de calizas grises, en el sector de Ccanabamba Alta.

**4.1.2.4. GRUPO YURA.** J. Wilson (1962) da el rango de Grupo Yura. Se trata de un grupo de unidades litológicas de origen marino, compuesta de sedimentos lutáceos, areniscosos y calcáreos, agrupados en 5 formaciones, relacionadas cronológicamente: Las formaciones Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani, cuyas edades van desde el Jurásico medio hasta el Cretácico inferior. En nuestro área de trabajo, afloran 4 de ellas, no presentando afloramientos, la Fm. Cachíos.

a) **FORMACION PUENTE (Jm-yu/pu).** Esta formación tienen una edad Jurásica media. Aflora restringido en el cerro Incaperqa (Foto 031), sobreyaciendo a la Fm. Socosani. Litológicamente está constituida por areniscas grises y blanquecinas intercaladas con pelitas negras a grises y niveles de calizas con abundantes fósiles. Las areniscas son de grano medio a fino cuarzosas, en bancos muy bien estratificados de hasta un metro de potencia, presentan laminaciones oblicuas, planas y horizontales.

b) **FORMACION LABRA (Js-yu/la).** V. Benavides (1962), lo estudió en el cerro Labra, ubicado inmediatamente al sur de la cresta de Hualhuani, en Arequipa. De edad Jurásico Superior. La Fm. Labra, al igual que la Fm. Puente es bastante restringida en su afloramiento, encontrándose únicamente en el cerro Incaperqa (Foto 031), en el nor-este de la ciudad de Abancay; infrayace concordante a la Fm. Gramadal. Litológicamente en sus niveles basales

está compuesta por areniscas cuarzofeldespáticas grises y blanquecinas con intercalaciones milimétricas de areniscas de grano fino a medio o con limoarcillitas y/o lutitas con contenido fosilífero. Las areniscas son de grano fino a medio.

- c) **FORMACION GRAMADAL (Js-yu/gr)**. V. Benavides (1962) lo denomina calizas Gramadal y anota que anteriormente habían sido identificadas por W. Jenks, quien señala las faldas orientales de los cerros Hualhuani y Labra como localidades típicas de afloramiento de sus rocas constituyentes en Arequipa.

De edad Jurásico superior, esta unidad aflora conjuntamente con las Fm. Hualhuani y Labra en el cerro Incaperqa (Foto 031), infrayaciendo en discoradancia erosional a la Fm. Hualhuani. Litológicamente en sus niveles basales está constituida por una intercalación de sedimentos pelíticos como lutitas y limoarcillitas de coloración gris, negros y verdes, intercalados con areniscas grises; en tanto hacia el tope se tiene calizas gris oscuras de hasta 7m de potencia con presencia de fósiles intercalados con lutitas y areniscas calcáreas.

- d) **FORMACION HUALHUANI (Ki-yu/hu)**. W. Jenks (1948) describió a esta unidad como cuarcitas de Hualhuani en Arequipa. De edad Cretácico inferior, la Fm. Hualhuani, aflora ampliamente en el sector este y nor-este de la ciudad de Abancay, en los cerros Suro, Qasacancha y Sombreruniyoc (Foto 032), y el sector de Puruchaca.

Aflora infrayaciendo a las areniscas de la Fm. Murco; litológicamente está caracterizada por areniscas cuarzosas de coloración blanquecina y gris de grano fino a medio (Foto 032), masivas y con estratificación oblicua intercalados con pelitas negras carbonosas. Se aproxima una potencia de 400 a 500m (W. Valdivia & O. Latorre. 2002).



Foto 031 (Izquierda): Vista del cerro Incaperqa, donde afloran las formaciones Puente, Labra, Gramadal y Hualhuani. Foto 032 (Derecha): Afloramientos de areniscas cuarzosas de la Fm. Hualhuani en el cerro Sombreruniyoc, al este de la ciudad de Abancay.

- 4.1.2.5. **FORMACION MURCO (Ki-mu)**. Descrita por Jenks, de edad Cretácico inferior. Esta formación aflora en el sector oriental de la ciudad de Abancay, en el cerro Alccamarca y Takeorcco, donde infrayace a las calizas Arcurquina y es intruida por monzogranitos del plutón Lambrama-Marjune. Litológicamente esta formación, presenta tres niveles: La base inferior con intercalaciones de areniscas rojizas cuarzofeldespáticas de grano fino con laminaciones oblicuas de bajo ángulo, horizontales y flaser bedding; con limolitas y lutitas rojas en capas

delgadas; hacia la parte media, presenta estratos submétricos de areniscas cuarzosas y feldespáticas blancas y hacia el techo presenta intercalaciones de areniscas y conglomerados con limoarcillitas y limoareniscas rojas y violáceas con capas delgadas de yeso y calizas. La potencia de esta formación es aproximadamente de 100m.

**4.1.2.6. FORMACION ARCURQUINA (Kis-ar).** De edad Cretácica inferior a superior; esta formación es de naturaleza predominantemente calcárea, se encuentra distribuida ampliamente en el sector oriental, y nor-este de la ciudad de Abancay, en los cerros Condorillo, Sombreruniyoc y Aysar Cóndor. En el cerro Condorillo sobreyace concordante a la Fm. Murco, en tanto en el cerro Sombreruniyoc, sobreyace en discordancia erosional a la Fm. Hualhuani al igual que en el sector de Socclaccasa y cerro Aysar Cóndor, donde además es intruido por monzogranitos del plutón Lambrama-Marjune y gabros del plutón Cotabambas-Curahuari.

Litológicamente la Fm. Arcurquina, en sus niveles basales, está constituida por calizas mudstone de estratos submétricos de aspecto masivo con concreciones calcáreas, de coloración gris oscura (Foto 034), intercalados con niveles esporádicos de dolomitas. En tanto en los niveles superiores, los que se hallan deformados caóticamente por efectos tectónicos, está compuesta por calizas bien estratificadas de coloración gris intercalados con niveles pelíticos de limoarcillitas y lutitas (Foto 033) y estratos de calizas mudstone con abundantes fósiles mal conservados y nódulos de chert.



Foto 033 (Izquierda): Intercalación de areniscas de grano fino y lutitas de la Fm. Arcurquina, en el sector de Llullucha. Foto 034 (Derecha): Estratos de calizas caóticos gris blanquecinos de la Fm. Arcurquina, también en el sector de Llullucha.

**4.1.2.7. FORMACIÓN AUSANGATE (KsPp-au).** Definida como formación Ausangate por Audebaud (1973) y Carlotto (1992). Su nombre proviene del pueblo homónimo en el cuadrángulo de Ocongata, región del Cusco. Tiene una edad que va del Cretácico superior al Paleoceno.

Los afloramientos de esta formación, se ha cartografiado únicamente en el sector de Quitasol, en dirección oeste de la ciudad de Abancay, donde es cortada por la carretera Abancay-Nazca, mostrando el talud litológico del mismo. Las rocas que la componen son básicamente limolitas, limoarenitas de coloración rojiza (Foto 035) intercalados con areniscas de grano medio rojizos y parduzcos con laminación paralela, también presenta niveles de yesos (Foto 036), razón por la que el sector de Quitasol geomorfológicamente constituye un domo yesífero por efectos diapíricos.



Fotos 035 y 036: Afloramiento de yesos caóticos de la Fm. Ausangate, cubiertos por material coluvioaluvial en el sector de Quitasol, en la carretera Abancay-Nazca.

**4.1.3. ERA CENOZOICA.** El Cenozoico para el presente estudio, está caracterizado básicamente por la presencia de los depósitos cuaternarios, los mismos que ocupan las laderas de los cerros y los fondos de valles y quebradas. Dichos depósitos son trascendentales, ya que sobre ellos se sitúa la ciudad de Abancay y asentamientos humanos importantes, además de que son los actores principales en los estudios de geodinámica externa. Así tenemos: depósitos morrénicos, depósitos fluvio-glaciales, depósitos aluviales, depósitos coluviales, depósitos coluvioaluviales, depósitos fluvioaluviales y depósitos fluviales.

**4.1.3.1. DEPÓSITOS MORRÉNICOS (Qpl-mo).** También llamados depósitos de glaciar, están constituidos por bloques de rocas de tamaños heterométricos, dispuestos caóticamente dentro de una matriz limoarenosa o gravosa (Foto 037) según sea el caso. Estos depósitos son materiales transportados y depositados por acción de las masas de hielo glaciar y su distribución es altamente errática, pero por lo general se dan activamente en las partes altas de las montañas o en los flancos de quebradas de origen glaciar. La característica principal de estos depósitos cuaternarios es su heterogeneidad y por lo general se hallan disectados debido a erosiones glaciares posteriores.

En el área comprendida por nuestro estudio, los depósitos morrénicos se presentan en los alrededores del Nevado del Ampay, principalmente en los lugares donde se observan cuerpos hídricos actualmente, dichos lugares se observan en el sector sur-este y este de la ciudad de Abancay, en los bordes limítrofes del área de estudio, zona en la que además hay una gran cantidad de lagunas que se originaron a partir de los deshielos glaciares. Por un lado las morrenas del Ampay, están compuestas principalmente por gravas subangulosas de calizas grises y lutitas negras en matriz limoarcillosa, en tanto en el sector con predominio de lagunas, situadas al sur-este de la ciudad de Abancay, las morrenas están constituidas por fragmentos de areniscas cuarzosas, calizas, ortogneises e intrusivos envueltos dentro de una matriz limoarenosa a limosa.

**4.1.3.2. DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES (Qpl-fg).** Están representados por una secuencia de gravas subangulosas a subredondeadas envueltos en una matriz limoarcillosa con clastos subredondeados polimícticos (básicamente de intrusivos, calizas, lutitas y areniscas), debido

a arrastres extensos de masas de suelo, producto de la desglaciación. Presentan en algunos casos estratificación debido a la intercalación de eventos de avalanchas continuas.

En el área de interés, estos depósitos los podemos encontrar en el fondo de los valles glaciares como: quebrada Siputillayoc, quebrada Uchuhuacho, quebrada Cancallayoc, quebrada Chulluncuyoc, quebrada Cuchacca, quebrada Matara, quebrada Runtoccocha (Foto 038), quebrada Huayllapata y la quebrada Soraccocha, todas ubicadas en el extremo oriental y sur-oriental de la ciudad de Abancay.



Foto 037 (Izquierda): Depósitos morrénicos en el sector de Callamarca. Foto 038 (Derecha): Vista de un valle en "U", típico de un ambiente glaciar donde a la base se depositan, gravas, limos y arcillas, característicos de los depósitos fluvio-glaciales.

**4.1.3.3. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co).** Son depósitos locales, productos de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de laderas, los cuales son redepositados en las laderas o al pie de las unidades montañosas. Frecuentemente están asociados a masas rocosas inestables, con alto grado de fracturamiento y/o meteorización intensa. Su composición litológica depende de la roca de la que proceden, estando formados generalmente por fragmentos angulosos y heterométricos envueltos en una matriz limoarcillosa.

Los depósitos coluviales también muchas veces se generan a partir de procesos de reptación de suelos, además de formar taludes poco estables, por lo que se consideró las áreas de deslizamientos en el presente estudio como suelos coluviales. Estos depósitos son materiales de baja resistencia, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, aspecto que sumado a las precipitaciones, pueden generar deslizamientos.

En nuestro estudio, dichos depósitos los podemos encontrar principalmente en las periferias oeste y norte de la ciudad de Abancay, en el sector de Muyocorral, Pantillay, Mosoqpampa, Cocha y Pumararra (Foto 039); los cuales además representan pendientes fuertemente inclinados. Otro área donde estos depósitos son bastante considerables es en el sector de Saraccata y Sahuinto, ambos en el flanco oeste del río Pachachaca y otro no menos importante tenemos en las laderas del cerro Tinimpata, ubicado en el flanco oeste del Nevado del Ampay, que tiene una configuración de pendientes fuertemente inclinados a moderadamente inclinados y en donde además las rocas calcáreas del grupo Copacabana y rocas del grupo Mitu se encuentran fuertemente fracturadas.

**4.1.3.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al).** A nivel urbanístico, son los depósitos más relevantes, ya que toda la ciudad de Abancay y la proyección del mismo se asienta sobre este tipo de depósitos. Estos se caracterizan por tener una estratificación gradual natural, ya que en la base presenta grandes bloques o fragmentos rocosos, a la parte intermedia gravas y arenas (Foto 040), y en la parte superior limos y arcillas; esto debido a que se originan a partir de aluviones. Los depósitos sobre las que se halla edificada la ciudad de Abancay, están compuestos por bloques y gravas subredondeadas a redondeadas de naturaleza variable, envueltos en una matriz arenolimososa, cerca al río pachachaca y bordes del río Mariño. Estos depósitos presentan una cementante de naturaleza calcárea, debido a la lixiviación que sufren la calizas Copacabana a causa de aguas meteóricas y aguas subterráneas; característica que le dota una gran dureza y compactación a los depósitos aluviales y las convierte en un buen material sobre la que se pueden construir edificaciones. Sin embargo dicho cementante sólo llega a influir en un promedio de 0.5 a 2m de espesor.

Estos depósitos prácticamente ocupan más del 90% del valle fluvioaluvial del mariño, el cual se extiende desde el sector de Tincoquaycco, en el nor-este de la ciudad de Abancay, hasta el sector de Santo Tomás, Pachachaca Alto y Huancor en el sur-oeste y al norte se extiende hasta los sectores de Lipia, Pantillay, Soccoshuaycco y San Antonio, y finalmente en el otro extremo limita con el cerro Quisapata.



Foto 039 (Izquierda): Vista del flanco norte de la ciudad de Abancay, lugar donde se tienen los depósitos coluviales más importante, como el de Ccocha y Pumarana. Foto 040 (Derecha): Depósitos aluviales en el sector de Ñacchero.

**4.1.3.5. DEPÓSITOS COLUVIOALUVIALES (Qh-ca).** Estos depósitos se ubican en el borde oeste de la ciudad de Abancay, en los asentamientos de Erapata, Trujipata, Yauna y Chilcapata. Constituye un relieve con pendientes moderadamente inclinados, compuesto en la parte baja por grandes bloques de caliza subangulosos de tamaño variable y en la parte alta por gravas heterogéneas subredondeadas a subangulosas en matriz limoarcillosa.

**4.1.3.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl).** Estos depósitos han sido reconocidos en el lecho de los ríos Pachachaca y Mariño, en la parte baja de la cuenca. Constituidos por bancos de gravas heterogéneas subredondeadas a redondeadas en matriz arenosa. Sin embargo los que tienen extensiones considerables, formando bancos de arena y algunas terrazas fluviales, son los depósitos que se hallan en el área de afluencia del río Mariño sobre el Pachachaca (Foto 041).

Estos materiales son estrictamente transportados y depositados por los ríos. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques; donde los constituyentes finos representan o significan las grandes longitudes por las que fueron transportadas, en cambio los bloques y cantos, significan que sufrieron poco transporte por parte de los ríos. Así los depósitos fluviales son suelos que su propiedad geológica-geotécnica depende de su granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría y generalmente presentan un nivel freático alto. Los depósitos fluviales constituyen una fuente de recursos de materiales de construcción, sobre todo como agregados y/o piedra chancada, situación de explotación que podemos observar claramente en el sector de Carmen y el Puente Pachachaca donde se tienen varias Plantas de chancado y clasificación de agregados, tal como se puede percibir en la foto 041.



Foto 041: Depósitos fluviales del río Pachachaca en el sector del Puente Colonial del mismo nombre; además se pueden observar parte del valle fluvioaluvial del río Mariño.

**4.1.3.7. DEPÓSITOS FLUVIOALUVIALES (Qh-fa).** Son depósitos que se observan esencialmente en los cauces de pequeños ríos y quebradas. Estos depósitos conforman niveles aluviales relativamente antiguos, formando terrazas dominantes en los cursos de los ríos, que posteriormente a causa del dominio fluvial de dichos ríos y/o quebradas estacionales, se restringen a las orillas y bordes de las quebradas y ríos, donde se entremezclan con los depósitos aluviales a causa de la actividad constante de las aguas por saturar espacios vacíos de los aluviones.

En el área de estudio, se cartografiaron estos depósitos en las quebradas de Ccolcaqui, Ñaqchero, Runtoccocha, Marcahuasi y el curso del río Mariño hasta desembocar en el río Pachachaca (Foto 041).

## 4.2. ROCAS ÍGNEAS

En el presente estudio, las rocas ígneas (Tabla 007), afloran restringidos en el sector este y sur-este, donde las rocas monzograníticas del plutón Lambrama-Marjune afloran en mayor extensión; seguidos por las rocas volcánicas del volcánico Sañayca y finalmente relegado en volumen e importancia, están las rocas cuarzodioríticas del plutón Ocobamba-Anchaca, que afloran en el sector sur-oeste del área de estudio, en el sector de Siracayoc.

ROCAS ÍGNEAS							
EONOTHEM EÓN	ERATHEM ERA	SISTEMA PERÍODO	SERIE ÉPOCA	EDAD	UNIDAD GEOLÓGICA		
					ÍGNEOS	SÍMBOLO	
FANEROZOICO	CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno	1,806			
		Neógeno	Plioceno	5,332	Volcánico Sañayca		
			Mioceno		Intrusivo Cotabambas Curahuasi	Gabro	PN-cot-cu/gb
					Granodiorita	PN-cot-cu/gd	
		Paleógeno	Oligoceno	23,03			
			Eoceno	33,9 +/- 0,1	Intrusivo Lambrama Marjune		
			Paleoceno	55,8 +/- 0,2			
					65,5 +/- 0,3	Intrusivo Ocobamba Anchaca	
		MESOZOICO			251,0 +/- 0,4		
		PALEOZOICO			542,0 +/- 1,0		
PRECÁMBRICO			100				

Tabla 007: Escala cronológica de las unidades ígneas que afloran en el área de estudio. Fuente: Elaboración Propia.

**4.2.1. SECUENCIAS INTRUSIVAS.** La actividad intrusiva de cuerpos plutónicos a nivel de la región Apurímac, se presentó en dos periodos bastante diferenciables, uno desde el Pérmico hasta el Triásico inferior, del cual, es representante el Plutón de Abancay, y el otro durante todo el Terciario, desde el Paleógeno hasta el Neógeno, periodo de los cuales son todas las rocas intrusivas que afloran en el área comprendido por nuestro estudio.

**4.2.1.1. INTRUSIVO OCOBAMBA ANCHACA (PN-oc-an/czdi).** Este cuerpo ígneo forma parte del plutón Abancay, pero se diferencia claramente del mismo, debido a que no presenta signos de haber sufrido algún tipo de metamorfismo, por lo que el cuerpo cuarzodiorítico es evidencia clara sobre la diferenciación magmática que registro el enfriamiento del Plutón Abancay, que en gran parte de su extensión se observa como un ortogneis.

Está constituido básicamente por plagioclasas, cuarzo en cantidades mínimas y algunos minerales como piroxenos y hornblendas. Este cuerpo intrusivo es el de menor importancia por su ubicación de afloramiento, que es en el sector de Siracayoc, al sur del poblado de Auqibamba y al sur-oeste de la ciudad de Abancay.

**4.2.1.2. INTRUSIVO LAMBRAMA MARJUNE (PN-lam-ma/mzgr).** Afloran en una considerable extensión en el flanco oriental del área de estudio y es el que más área ocupa respecto a los demás intrusivos que afloran. Son monzogranitos que afloran en el extremo este de la ciudad

de Abancay, en los asentamientos de Taraqasa (Foto 042), Chillcapata, Acllacancha, Ccanabamba (Foto 043), Llaullipata, Marcahuasi, Asilo y Cruzmocco, y los cerros Lechepucro, Aysar Cóndor, Yana Allpa, Palla y Keñuacocha; intruyendo rocas de la Fm. Socosani, grupo Yura, Fm. Murco, Fm. Arcurquina, y a las mismas rocas ortognéicas del plutón Abancay.

Estos cuerpos monzograníticos están constituidos básicamente por plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo, característica que les otorga una coloración clara. Sin embargo en algunos sectores también se pueden ver monzogranitos grises presentando una textura granular, los que se componen básicamente de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, bitotita y hornblendas, como minerales accesorios se tienen muscovitas, cordierita y anfíboles. Es común ver a estas rocas con alteración propilítica y presencia de xenolitos (Foto 043).



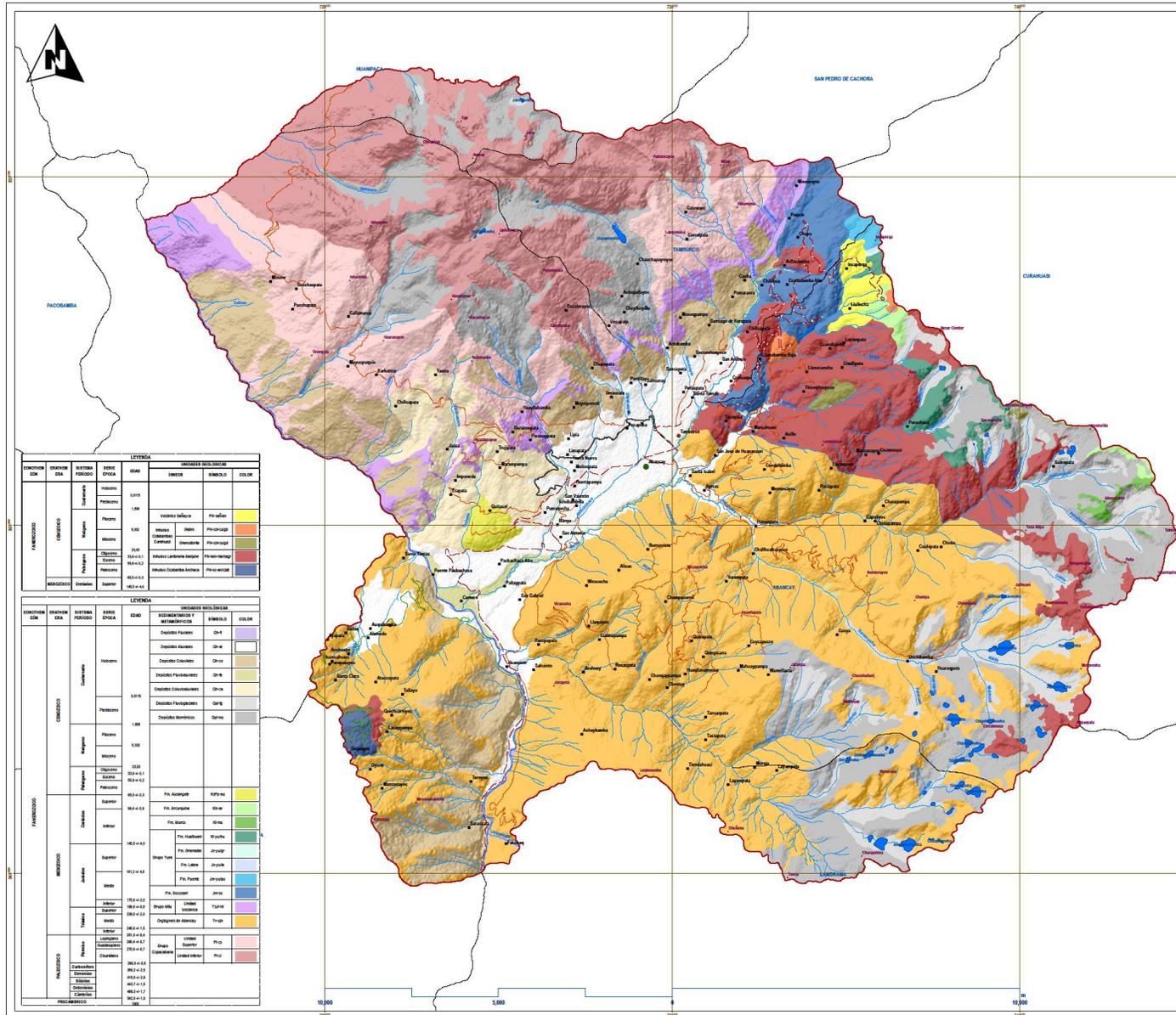
Foto 042 (Izquierda): Afloramiento de monzogranitos intensamente fracturados en el sector de Taraqasa. Foto 043 (Derecha): Afloramiento de monzogranitos con xenolitos de dioritas a granodioritas, en el sector de Chillcapata y Ccanabamba Baja.

**4.2.1.3. INTRUSIVO COTABAMBAS CURAHUASI.** Constituido por dos unidades intrusivas, una gabroica y otra granodiorítica.

- a) **INTRUSIVOS DE GRANODIORITA (PN-cot-cu/gd).** Es bastante limitado en su extensión, aflora únicamente en la quebrada Muñayoc, en el sector Tincoquaycco, al nor-este de la ciudad de Abancay. Este cuerpo granodiorítico forma parte del plutón Cotabambas-Curahuasi. Aflora cortando tanto las rocas monzograníticas del plutón Ocobamba-Anchaca como también las rocas ortognéicas del plutón Abancay.

Según se observa en la zona de afloramiento, las granodioritas son faneríticas de coloración gris verduzca, de textura equigranular con abundante plagioclasa y hornblenda, además de cuarzo; presenta puntos de piritita diseminada, donde también se puede observar alteración a clorita-epidota por parte de biotitas y hornblendas. Como los demás intrusivos, también es cortado por diques andesíticos.

- b) **INTRUSIVOS DE GABRO (PN-cot-cu/gb).** Aflora bastante restringido a algunas áreas, en el sector de Socclaccasa, intruyendo a las calizas Arcurquina, también se pueden distinguir claramente los afloramientos en el sector de Ccanabamba Baja, al nor-oeste de la ciudad de Abancay, donde corta las rocas de la Fm. Socosani. Las rocas gabroicas son de coloración gris oscura, constituidos por abundantes fenocristales de plagioclasa y hornblenda.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1:100 000  
 Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1:100 000  
 Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 5

Proyección y Datum:  
 Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o UTM Horizontal: 18 Sur

Escala de Posición: 1:50 000  
 Escala de Impresión: 1:100 000

Mapa: Mapa Geológico  
 Código de Mapa: MG00L

Elaboración y Diseño de Mapa:  
 Bech, Salazar Quiroz, Esai

Fecha: Octubre del 2018  
 Fuente: Modificado de INGEOMET

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
  - Capital Distrital
  - Poblados
  - Límite Distrital
  - Cerros
  - Área de Estudio
  - Red Hidrográfica
  - Lagunas
- RED VIAL
- Via Nacional
  - Via Regional
  - Via Vecinal o Rural
  - Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TÍTULO: GEOLÓGIA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - AREQUIPA

MAPA GEOLÓGICO

UBICACIÓN: Arequipa - Arequipa

PROYECTO: GEOLÓGIA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - AREQUIPA

MAPA N° 006

**4.2.2. SECUENCIAS VOLCÁNICAS.** Las series volcánicas a nivel de la región Apurímac, se inician en el Terciario, durante el Paleógeno y abarcan hasta el Cuaternario en el Pleistoceno. Sin embargo en el área que comprende el Estudio, las rocas volcánicas son las de menor importancia respecto a la extensión de sus afloramientos, ya que sólo se presenta con rocas andesíticas de la Unidad Volcánica Sañayca.

**4.2.2.1. VOLCÁNICO SAÑAYCA (PN-sañ/an).** Durante todo el período del Paleógeno y Neógeno, se dieron diversos eventos de efusiones volcánicas en toda la región sur del país y de dichos eventos es que en la zona de estudio, tenemos como evidencia, las rocas andesíticas de coloración rojiza del volcánico Sañayca (Foto 045), que afloran en el nor-este de la ciudad de Abancay, en el sector de Incaperqa (Foto 44) y Llullucha, sobreyaciendo a las rocas de las Fm. Socosani, grupo Yura, Fm, Arcurquina y rocas monzograníticas del plutón Ocobamba-Anchaca.



Fotos 044 y 045: Afloramiento de lavas andesíticas de coloración rojiza del volcánico Sañayca, en el sector de Incaperqa.

### 4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La cadena andina y el sistema de fallas que la acompaña, son elementos continuos sobre la margen occidental de Sudamérica (Gráfico 005), sin embargo la deformación continental presenta importantes cambios latitudinales y longitudinales que motivan la definición de segmentos neotectónicos con una geodinámica-cinemática característica (Gráfico 006). Diversos estudios enfocados en problemáticas específicas han descrito distintos segmentos de los Andes.

La geología estructural, desempeña un papel muy importante en lo que respecta a la geología y más aún cuando se trata de la geodinámica, ya que son las estructuras geológicas las que condicionan muchas veces la intensidad de los movimientos telúricos, los cuales afectan a las poblaciones cuando éstos se encuentran rodeados por dichas estructuras.

A nivel tectono-estructural, existe un área dentro de nuestro estudio que despierta toda curiosidad geológica, éste, es el Nevado del Ampay (Gráfico 007), el que representa un gran interés, para comprender los diversos comportamientos que tuvieron las rocas a lo largo del tiempo geológico, ya que forma parte de uno de los mayores Accidentes Estructurales del país “La Deflexión de Abancay”; el mismo que encierra información que aún no ha sido descifrada del todo por la geología.

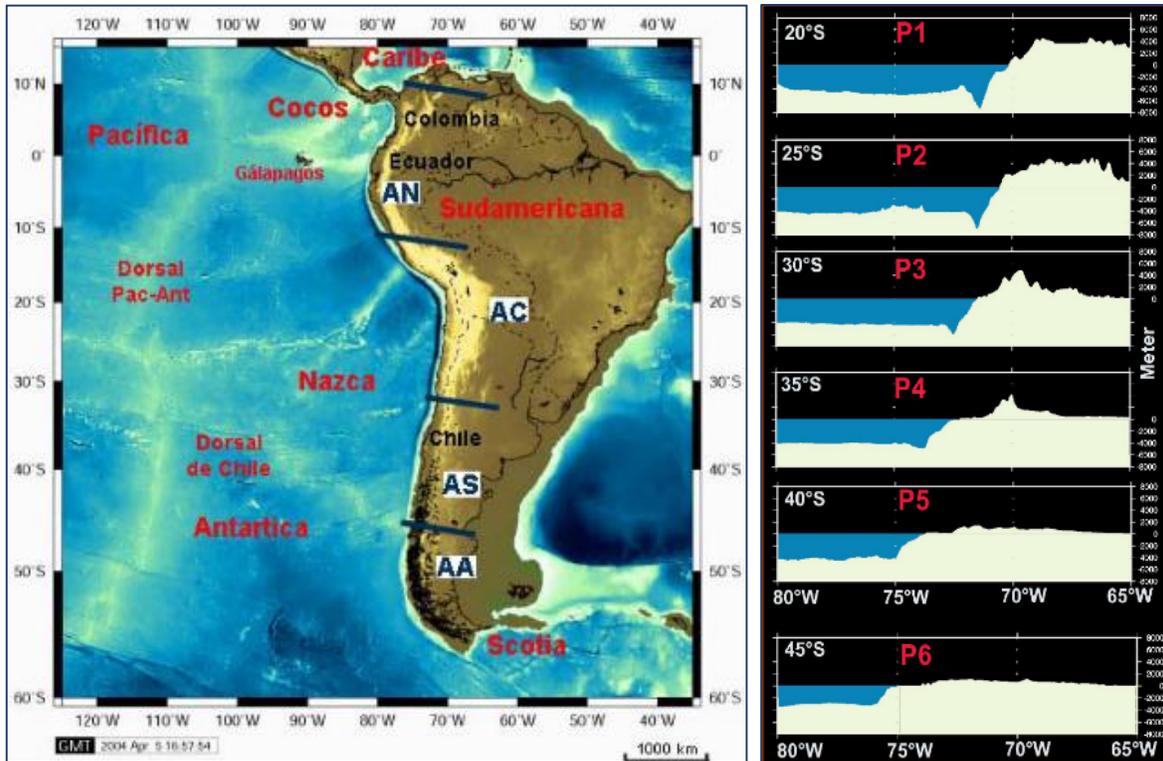


Gráfico 005 (Izquierda): Mapa del sistema andino y placas tectónicas involucradas: Nazca, Antártica, Sudamericana, Cocos y Caribe. Se observa la gran extensión del sistema andino. Entre líneas azules se limitan: Los Andes del Norte (AN), Los Andes Centrales (AC), Los Andes del Sur (AS) y Los Andes Australes (AA). Las dorsales activas: Dorsal Pacífico-Antártico (Dorsal Pac-Ant) y Dorsal de Chile. Fuente: GMT 2004. Gráfico 006 (Derecha): Perfiles topográficos latitudinales entre los 20°-45°S. Se observa la disminución en profundidad del eje de la fosa y la cadena andina hacia el sur. Fuente: GMT y GTOPO 2.

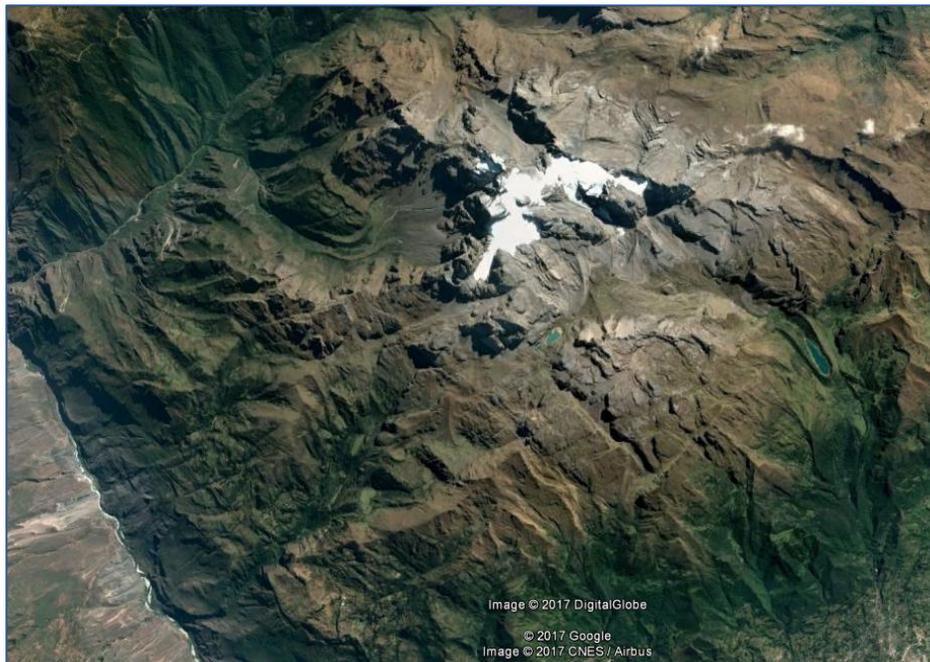


Gráfico 007: Vista en planta del Complejo Estructural del Ampay, donde se pueden observar claramente la gran cantidad de fallas, fracturas y pliegues, además de los buzamientos semi-verticales de las rocas.

Tomando en consideración los dominios geomorfológicos, nuestro área de trabajo, se encuentra ubicada entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental; mientras tanto a nivel de dominios estructurales, es atravesado directamente por el Sistema de Fallas Abancay-Andahuaylas-Totos y la Falla Patacancha-Tamburco; por lo que el área es bastante compleja a nivel estructural y describimos a continuación las principales estructuras geológicas que se cartografiaron:

**4.3.1. FALLAS.** Son fracturas o dislocaciones que ocurren en las rocas de la corteza terrestre y producen desplazamiento de los bloques resultantes del fracturamiento. Este movimiento puede producirse en cualquier dirección: vertical, horizontal o una combinación de ambas. Por lo que las fallas se producen cuando el esfuerzo ejercido debido al constante movimiento de las placas tectónicas supera la resistencia del material.

“Cuando se produce una falla se libera la energía de deformación acumulada en forma de calor y en forma de ondas sísmicas. Los pedazos de roca resultantes de la falla tienden a regresar a su estado inicial, produciendo un “Rebote” repentino hasta alcanzar una posición de equilibrio” - Teoría del rebote elástico (Reid 1911).

El desplazamiento de las fallas se puede clasificar por su orientación e inclinación. Los principales tipos de falla que se cartografiaron son: fallas inferidas, fallas normales inferidas y fallas inversas inferidas (Cartografiadas por imágenes satelitales), fallas normales, fallas inversas y fallas de desgarre (Cartografiados en campo y por referencias bibliográficas); como las que se pueden ver en el Mapa 007 - Mapa geológico-estructural:

**4.3.1.1. FALLAS NORMALES.** Se genera a partir de esfuerzos distensivos o esfuerzos de tensión que ocasionan un estiramiento de la corteza. Este tipo de fallas suelen tener buzamientos de moderados a altos, con valores promedio de 60°.

A nivel de nuestro estudio, estas fallas tienen poca relevancia, a excepción de las fallas normales inferidas que se registran en buena dimensión del área ocupada por el Nevado del Ampay y las que se sitúan en el flanco norte del mismo. Otra falla normal cartografiada, se sitúa en el sector de Sahuinto (Foto 046), en el sector sur-oeste de la ciudad de Abancay, donde disecta rocas del ortogneis de Abancay e intrusivos del cenozoico.

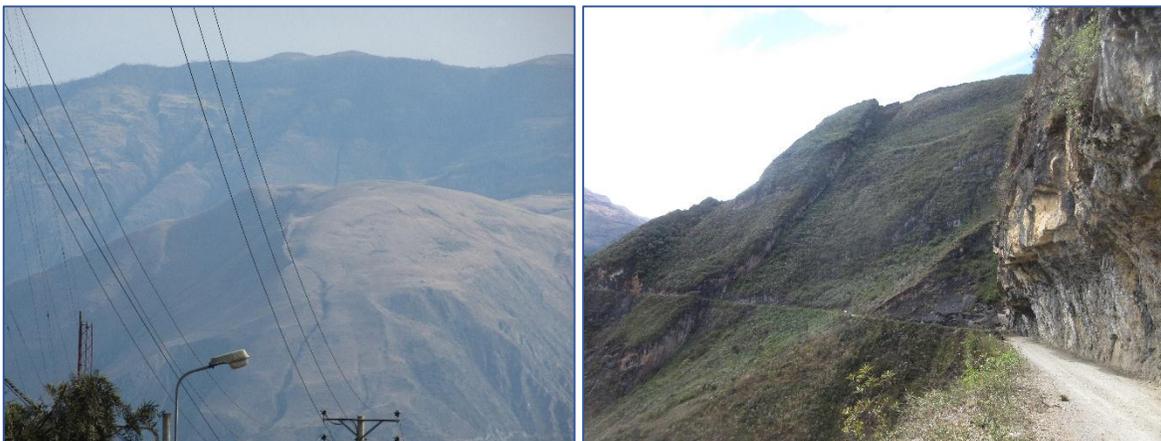


Foto 046 (Izquierda): Muestra la falla en el sector de Sahuinto. Foto 047 (Derecha): Fallas normales inferidas en el sector de Karkatera, en el flanco oeste del Nevado del Ampay.

**4.3.1.2. FALLAS INVERSAS.** Están asociadas a esfuerzos de compresión, los que producen a su vez un acortamiento en la corteza. Este tipo de fallas suelen tener buzamientos menores a  $45^\circ$ .

- a) **FALLA ABANCAY-CURAHUASI.** Se trata de fallas inversas importantes de dirección SO-NE. Estas estructuras se prolongan desde la ciudad de Abancay hasta Saywite en el distrito de Curahuasi, pero se extienden en su totalidad hasta la misma ciudad de Curahuasi. Una de las fallas, la que atraviesa el cerro Incaperqa, provoca la repetición de la Fm. Socosani en el sector de Saywite, y en el sector de Chapa sobrepone al grupo Mitu sobre la Fm. Socosani. A estas fallas se le atribuyen la deformación presente en el Plutón de Abancay, gradando de zona deformada cerca de las fallas a zona poco deformada en áreas distantes a las mismas.

Además de las fallas Abancay-Curahuasi, también se tienen las fallas inversas del Ampay, que se describen como parte del Anticlinorio del Ampay; y también están las fallas del sector sur-este del estudio, en el dominio glacio-lacustre, los cuales no son muy relevantes.

**4.3.1.3. FALLAS TRANSCURRENTES.** Es aquella que se acomoda al movimiento horizontal de dos bloques adyacentes, dependiendo del movimiento relativo de un bloque respecto a otro. Este tipo de falla presenta un buzamiento de  $90^\circ$ .

- a) **FALLA PATACANCHA-TAMBURCO.** A nivel de la región del Cusco, la Cordillera Oriental que tiene una dirección general NO-SE, sufre a la altura de Ollantaytambo un aparente “Desplazamiento” al SO controlado por la Falla Patacancha-Tamburco, de dirección NE-SO. Este aparente desplazamiento hace que la Cordillera Oriental se ponga en contacto por intermedio de dicha falla con el Altiplano. En resumen, el Altiplano termina en la Falla Patacancha-Tamburco. Actualmente la falla separa depósitos del Paleozoico al oeste de los depósitos meso-cenozoicos al este. También se puede afirmar que el sistema de fallas Patacancha-Tamburco, separa al oeste, el núcleo de la Deflexión de Abancay de las estructuras de dirección andina (NO-SE), al este.

La falla Patacancha-Tamburco, es en realidad un sistema complejo de fallas de dirección NE-SO y E-O, que en conjunto muestran regionalmente una tendencia de dirección NE-SO. Es una estructura mayor que muestra un cambio en las direcciones de las estructuras regionales a cada lado de la falla principal, de NO-SE a E-O. Muestra desplazamientos aparentes y controla además la evolución andina. La Falla Patacancha-Tamburco, es considerada como un sistema de fallas de transformación en la corteza continental durante el Permo-Triásico.



Fotos 048 y 049: Eje de una de la Fallas transcurrentes del Ampay, que forma parte del sistema de Fallas Tamburco-Patacancha; la cual separa las dos cimas del Nevado del Ampay en el punto más alto, que es el Abra Willcapata.

b) **FALLA ABANCAY.** Cartografiado por referencias bibliográficas, las que indican que dicha falla atraviesa el casco urbano de la ciudad. Por análisis de las estructuras regionales y los grandes sistemas de fallas del sur del país, se concluye que la Falla Abancay, forma parte del sistema de fallas Patacancha-Tamburco, que a su vez sería el borde límite de la Deflexión de Abancay. Es una falla que no ha sido reportada como activa durante los más de 100 años.

**4.3.2. PLIEGUES.** En la zona de estudio se ha observado básicamente pliegues de dirección E-O y NO-SE, que conforman el gran Complejo Anticlinorio del Ampay, que afecta a las rocas del grupo Copacabana (Foto 052) y grupo Mitu, que evidencia además un esfuerzo compresivo en dirección N-S. Asimismo se ha podido observar slumps (pliegues sin-sedimentarios) cerca al nevado del Ampay y en el cerro Puncojasa de dirección NO-SE.

**4.3.2.1. ANTICLINORIO DEL AMPAY.** El Nevado de Ampay, que es un plegamiento herciniano (Foto 051), se formó durante el Paleozoico medio y superior y está formado por un sistema de anticlinales y sinclinales, cuyo buzamiento predominante es de NO-SE. Este plegamiento ha sido fallado y fracturado intensamente, por un sistema de fallas, conocidos por los geólogos como “Complejo de Fallas de Abancay”, cuya dirección predominante es de O-E (Marocco, 1975). Dentro del complejo anticlinorio, se puede observar numerosas fracturas en las rocas, así como fallas, pliegues (Foto 050) y la ubicación de las lagunas de Willcacocha, Tornacocha, Uspaqocha y Angasqocha, en pleno eje de las fallas de desgarre del Ampay.



Fotos 050 (Izquierda): Falla normal con dirección NO-SE, en la cima del flanco oeste del Ampay, en el abra Willcapata, donde corta y separa los bloques rocosos del Copacabana. Foto 051: Falla inversa con dirección NE-SO, en el sector de Tornacocha, cerca de la cima del Ampay, donde también disecta las rocas del Copacabana.



Fotos 052 (Izquierda): Plegamiento en calizas del grupo copacabana en el sector de Minune. Fotografía 053 (Derecha): Estratos plegados del Copacabana en sector del cerro Pukatorayoc.

**4.3.3. DEFLEXIÓN DE ABANCAY.** Es una gran geoestructura, que se desarrolla a los 14° de latitud sur y que modifica por un corto trecho el rumbo general andino de las rocas, que es de NO-SE a E-O, formada por el desplazamiento de una falla de desgarre sinistral, donde además contribuye a la complejidad estructural de la región, pues allí los estratos sedimentarios se hallan fuertemente plegados y fallados (Foto 053). Este gran accidente estructural, abarca las zonas de Abancay, Cusco y Sicuani, y está relacionado directamente al Arco del Manu.

El sistema de fallas abarca una franja con más de 100 km de longitud que se extiende entre el NE de Abancay y SE del Cusco y más al SE, se presenta otro sistema de fallas denominadas Vilcabamba (Cabrera, 1988). En la deflexión de Abancay, la orientación cartográfica de las estructuras andinas está desviada en aproximadamente 25°. Coincidentemente en el sentido estricto del núcleo de la deflexión de Abancay (el Batolito de Vilcabamba o Machu Picchu de edad Permo-Triásica). Esta se halla separada por el sistema de fallas Patacancha-Tamburco (FPT) de la parte meridional NO-SE, y por el sistema de fallas Puyentimari-Rancahua (FPR) de la parte septentrional, igualmente NO-SE. Como se ha visto estas fallas son estructuras heredadas y para el caso del sistema de fallas Patacancha-Tamburco, es considerado como una falla de transformación durante la evolución del rift Permo-Triásico. Igual interpretación se considera para el sistema de fallas Puyentimari-Rancahua (Cárdenas et al. 1997; Carlotto. 2006). Esto permite concluir que el núcleo de la actual deflexión de Abancay, es una estructura heredada del sistema rift Permo-Triásico. Este núcleo durante la sedimentación Permo-Triásica ha debido de tener una sedimentación importante inclusive con registros de transgresiones marinas como lo demuestran los 200m de calizas fosilíferas en Vilcabamba (Cárdenas et al. 1997) o en Cachora y Huanipaca (Carlotto et al. 1999).

Posteriormente durante el Pérmico superior o Triásico hasta el Cretácico, este núcleo se convierte en un alto estructural, erosionando el Mitu previamente depositado y limitando el desarrollo de la cuenca Noriana (Chambara) y los depósitos de la cuenca Arequipa. Es decir éste núcleo ha jugado como un bloque levantado limitado por los sistemas NE-SO, FPT y FPR. Bajo este concepto de alto estructural y en sentido de los geólogos petroleros se puede definir el núcleo de la Deflexión de Abancay como el Arco de Abancay, es decir, una zona levantada estructuralmente entre el Triásico y el Cretácico.

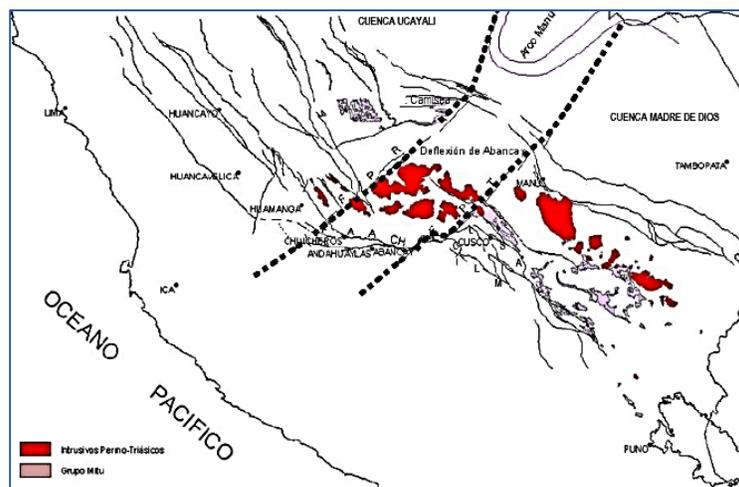


Gráfico 008: Estructuras Permo-Triásicas: Sistema de fallas: Patacancha-Tamburco; Puyentimari-Rancahua; Cusco-Lagunillas-Mañazo, Abancay-Andahuaylas-Chincheros, Urcos-Sicuani-Ayaviri. Gráfico del Arco del Manu. Fuente: Shepherd et al. 2002.

#### 4.3.3.1. ASPECTOS GEOESTRUCTURALES

La zona de la deflexión de Abancay (Gráfico 009), está caracterizada por la yuxtaposición de dominios estructurales o bloques que presentan, cada una, sus evoluciones sedimentarias, estructurales y magmáticas propias. El límite de estos grandes dominios está marcado por sistemas complejos de fallas (Gráfico 008). Así, la zona de Abancay, Cusco y Sicuani está conformada por 5 dominios:

- Borde Nor-Este de la Cordillera Occidental, incluye el Bloque Anta.
- Altiplano Occidental o Bloque Cusco-Sicuani.
- Umbral Cusco-Puno s.s.
- Altiplano Oriental o Cuenca Putina.
- Borde Sur-Oeste de la Cordillera Oriental.

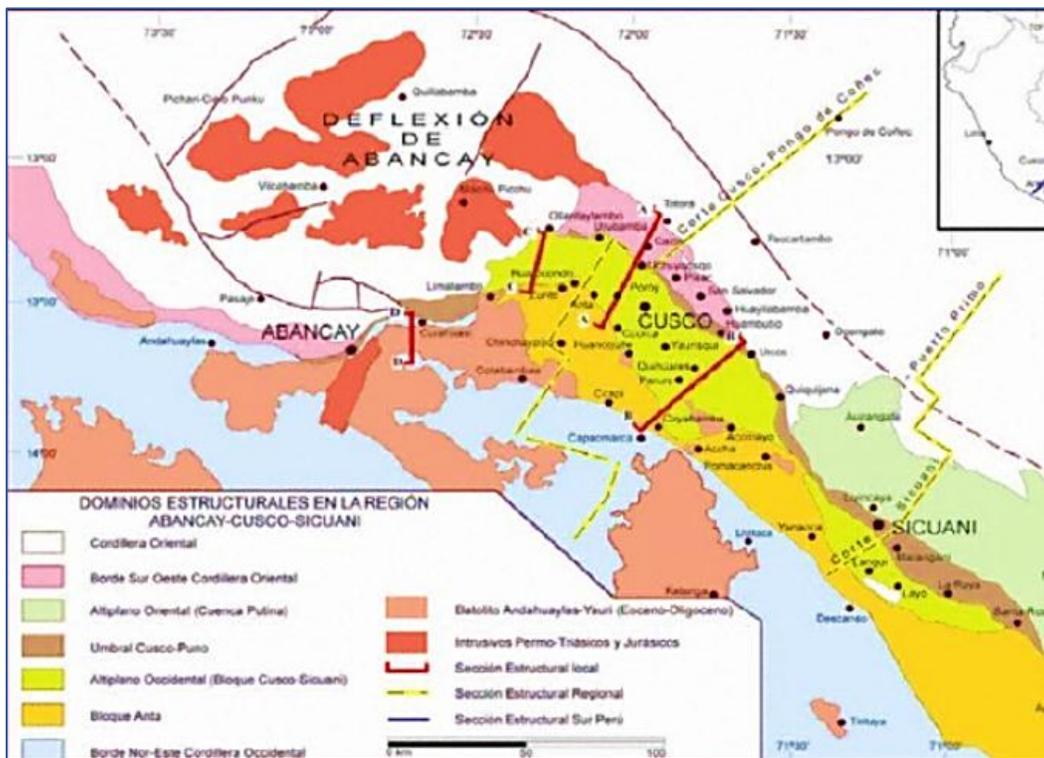
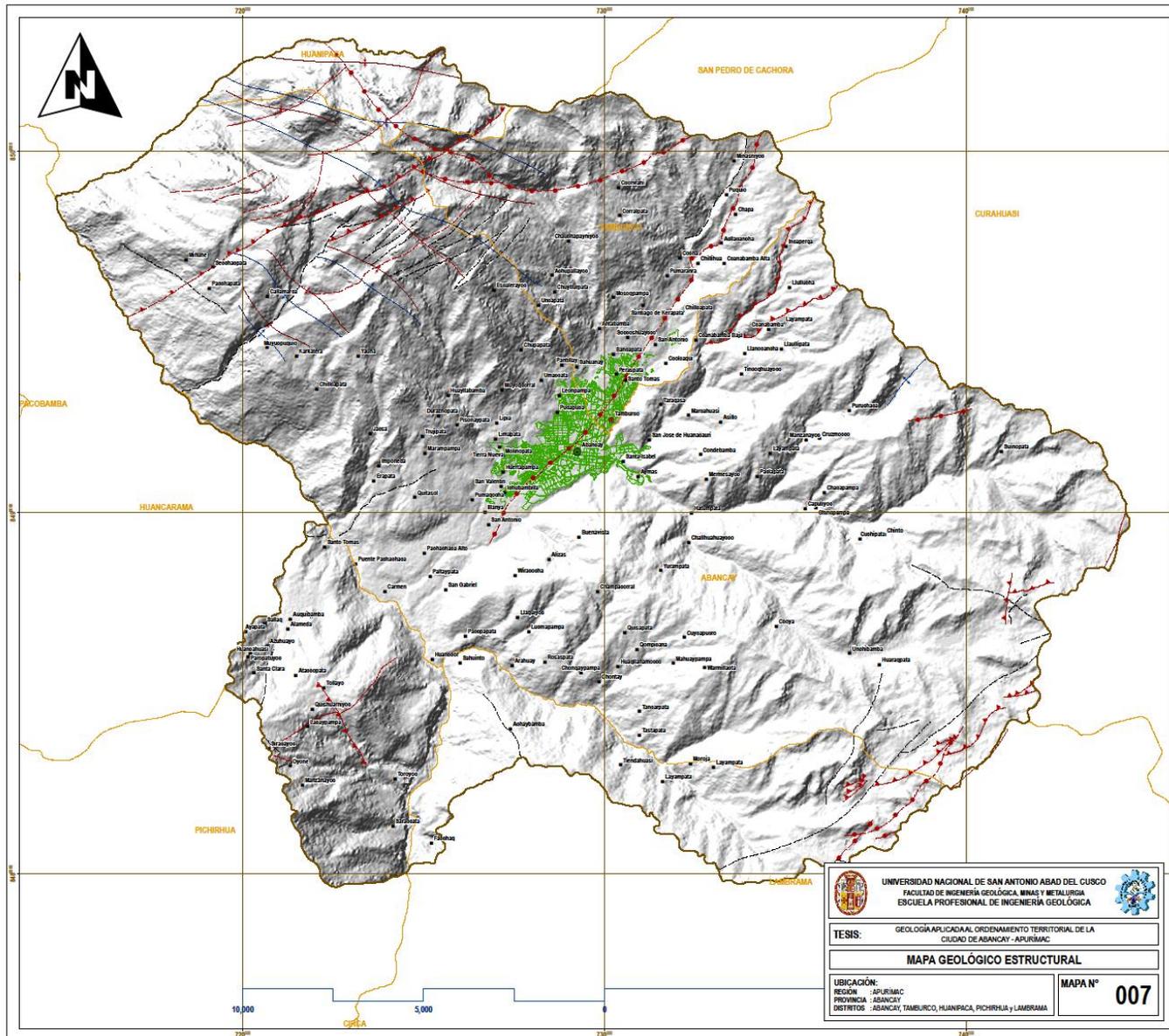


Gráfico 009: Dominios estructurales en la región Abancay-Cusco-Sicuani, donde se enmarca el área ocupada por la Deflexión de Abancay y los diferentes aspectos geoestructurales del mismo. Fuente: INGEMMET.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Cartas Geológicas Nacionales INGEMMET 1/100 000  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
Proyección Universal Transversa Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/70 000

Mapa: Mapa Estructural  
Código de Mapa: MEST

Elaboración y Diseño de Mapa:  
Bach. Salazar Gutiérrez, Esai

Fecha: Octubre del 2018  
Fuente: Modificado de INGEMMET

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Límite Distrital
- Poblados
- Área de Estudio
- Catastro Urbano

LEYENDA

- Falla Inferda
- Falla Normal Inferda
- Falla Inversa Inferda
- Falla Normal
- Falla Inversa
- Falla de Desgarre
- Anticlinal
- Sinclinal

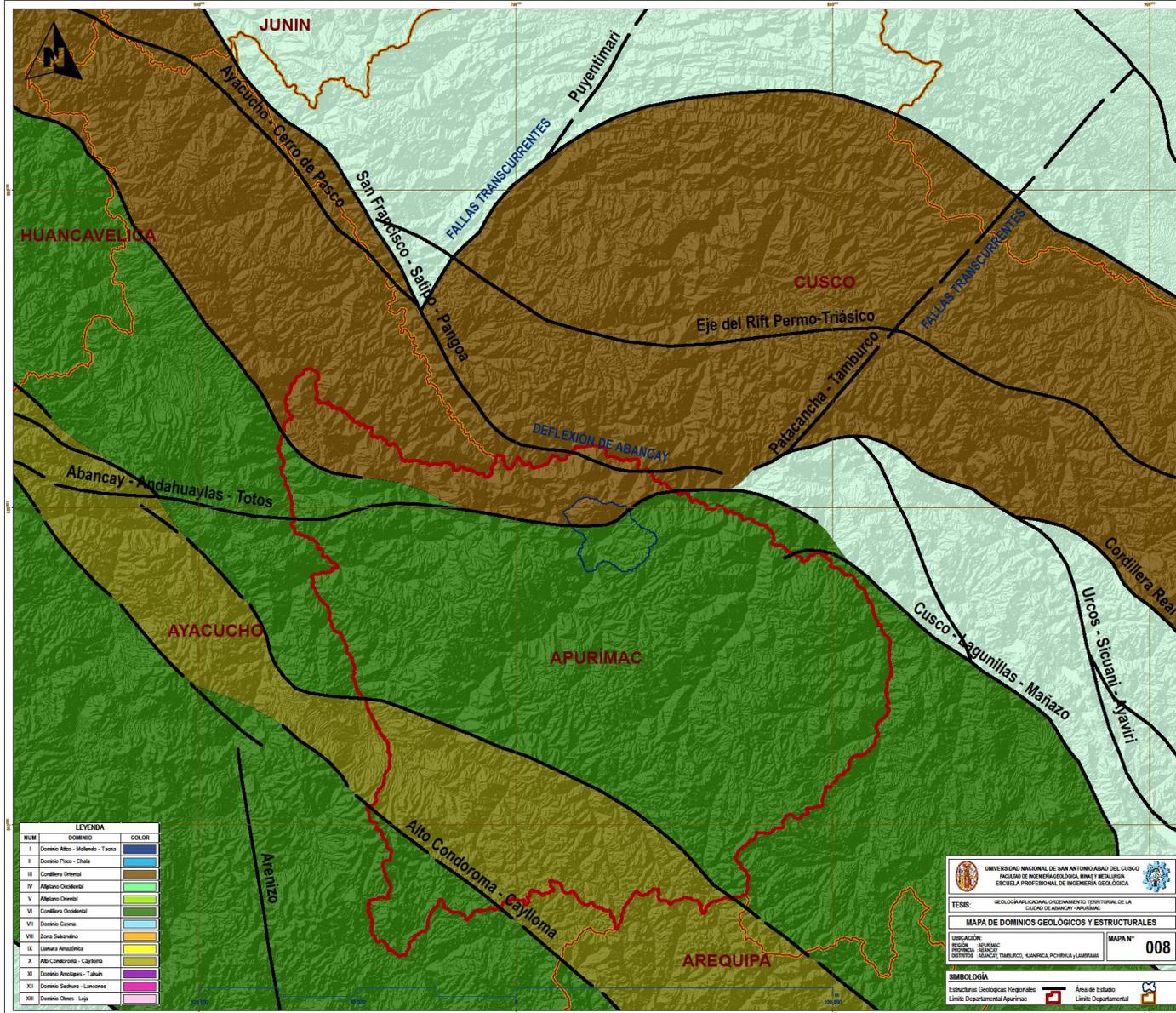
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABA  
DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGÍA, MINAS Y METALURGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

UBICACIÓN:  
REGION: APURÍMAC  
PROVINCIA: ABANCAY  
DISTRITOS: ABANCAY, TAMBURCO, HUAMPACA, PICHIRHUA Y LAMBAMA

MAPA N° 007



**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**

**REFERENCIA**

Información Base: Mapa de Dominios Geológicos - INGEOMET  
 Mapa de Estructuras Regionales del Perú 1:1 000 000 - INGEOMET  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Mapa de Dominios Geológicos: MDGER  
 Escala de Impresión: 1:550 000

Elaboración y Diseño de Mapa: BACH, SANCOR, QUINERO, EUSA  
 Fecha: Octubre del 2018  
 Fuente: INGEOMET

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESS: GEOLÓGIA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - ABANCAY

MAPA DE DOMINIOS GEOLÓGICOS Y ESTRUCTURALES  
 MAPA N° 008

UBICACIÓN:  
 REGIÓN: AYACUCHO  
 PROVINCIA: ABANCAY  
 DISTRITO: ABANCAY, TAMBUURCO, HUANCRA, POCHECHA, LAMPARCA

Área de Estudio: Área de Estudio  
 Límite Departamental: Límite Departamental

## CAPÍTULO V

### HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA y PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS

#### 5.1. HIDROLOGÍA e HIDROGRAFÍA

El drenaje en el área de estudio tiene una orientación predominante de NE a SO y todos sus ríos y quebradas fluyen en dirección a las aguas del río Pachachaca, el mismo que a nivel de cuencas hidrográficas del país, pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Apurímac (Tabla 008).

Los principales ríos, manantes y quebradas en la zona de trabajo se originan bajo influencia directa del Nevado del Ampay, en el sector norte de la ciudad de Abancay; por otro lado hacia el sector oriental, los recursos hídricos también tienen su origen en relieves influenciados por actividad glaciar como son los cerros Sombreruniyoc, Alccamarca, Moroccocha y Allpaqkata, bajo dominio de estos dos últimos existen además gran cantidad de lagunas, y finalmente en el sector sur-este, los principales afluentes del Pachachaca se originan en los cerros Charapalcca y Yauria. Los afluentes más importantes del Pachachaca en nuestra zona de trabajo son en orden de relevancia: río Mariño, río Sahuinto y el río Huanusqui (Mapa 009 - Mapa Hidrológico).

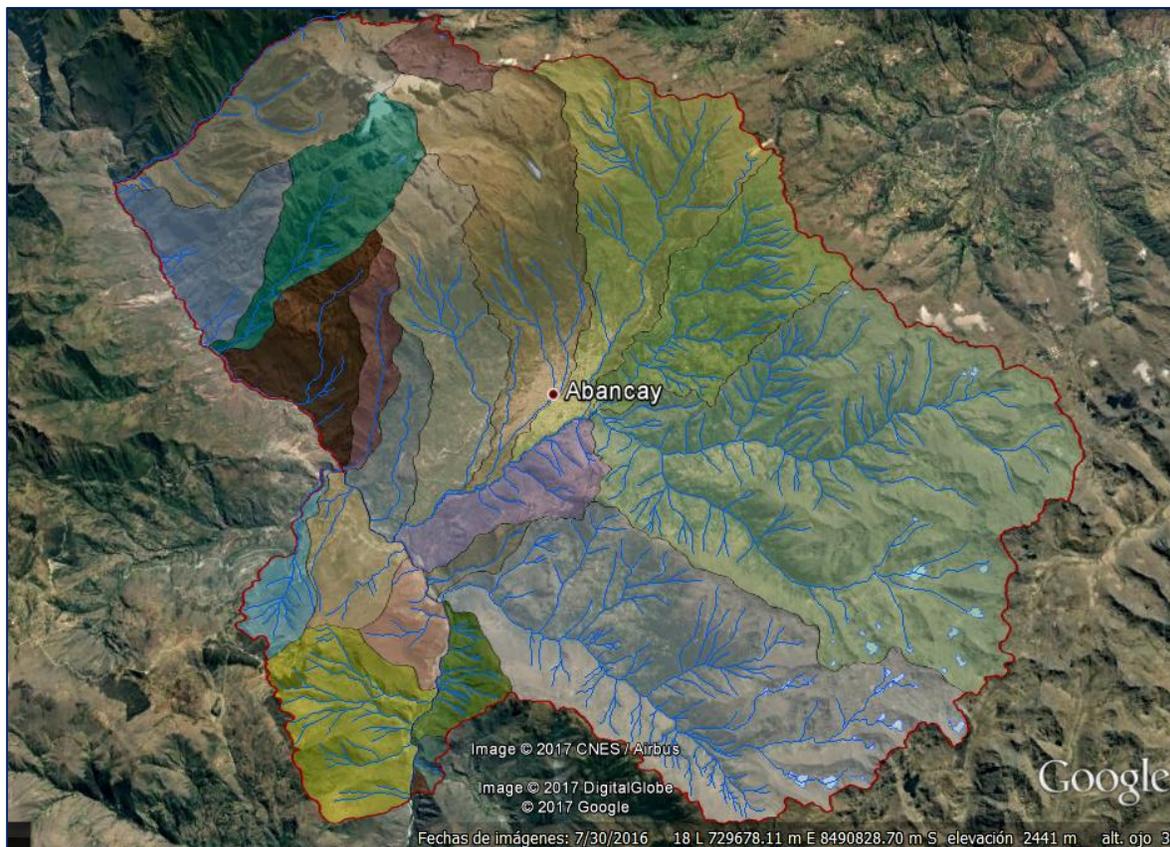


Gráfico D10: Se muestra la delimitación de las microcuencas existentes en toda el área comprendida por nuestro Proyecto en referencia a la ciudad de Abancay.

A nivel de la ciudad de Abancay, es la Microcuenca Mariño, el que tienen mayor relevancia, ya que las aguas de dicha microcuenca es la recolectora de las demás microcuencas. La microcuenca Mariño,



tiene como tributarios a las siguientes microcuencas: Trujipata, Ñacchero, Sahuanay-Chinchichaca, Ccolcaqui, Marcahuasi, Puruchaca-Runtoccocha (Hatumpata) y Anishuaycco-Alizar (Gráfico 010).

La principal fuente del recurso hídrico para la ciudad de Abancay lo constituyen, el Nevado del Ampay y la Laguna Runtoccocha, ubicados en el sector NO y SE respectivamente, por otro lado las demás fuentes hídricas esenciales de la población Abanquina, son las lagunas: Uspayccochoa, Yauriccochoa, Jejerayccochoa, Alfallaccocha y Tinyaccocha; ubicados los 4 últimos en el sector sur-este de la ciudad.

CUENCA	SUB-CUENCA	MICROCUECA	
		1°	2°
Apurímac	Pachachaca	Mariño	Trujipata
			Ñacchero
			Chinchichaca - Sahuanay
			Ccolcaqui
			Marcahuasi
			Hatumpata
			Anishuaycco - Alizar
		Alameda	
		Collcas	
		Huanusqui	
		Lloqueccata	
		Masurcana	
		Oyone - Tollay	
		Sahuinto	
		Sahuintuyoc	
		Tasta	
		Ullpahuaycco	
		Microcuenca I	
		Microcuenca II	
		Microcuenca III	
Microcuenca IV			

Tabla 008: Distribución hidrográfica de las quebradas del proyecto, en relación a la clasificación hidrográfica nacional, de acuerdo a Casaverde, 2011. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.1. PRINCIPALES MICROCUENCAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

**5.1.1.1. MARIÑO.** El Mariño como microcuenca más importante de la ciudad de Abancay, hidráulicamente se inicia con las aguas de las quebradas de Marcahuasi, que tiene su nacimiento hídrica en el cerro Incaperqa; y la quebrada Hatumpata, que se origina a partir de la confluencia de las quebradas de Puruchaca y Runtoccocha, los mismos que a su vez se originan en el cerro Sombreruniyoc y la laguna Runtoccocha, respectivamente.

Es una microcuenca tributaria de la sub-cuenca del Pachachaca, y es la más importante para la ciudad de Abancay, ya que sus tributarios y el mismo río Mariño (Foto 054), satisfacen todas las necesidades hídricas de la ciudad. Sin embargo el río Mariño, a estos tiempos luce totalmente contaminada a partir de la zona donde entra en contacto con el centro urbano de la ciudad, por lo que es imperante poder recuperar dicho río, ya que también simboliza un patrimonio para la población Abanquina. En orden de importancia, a la microcuenca en mención, lo constituyen los siguientes afluentes hídricos y/o microcuencas (Tabla 008):

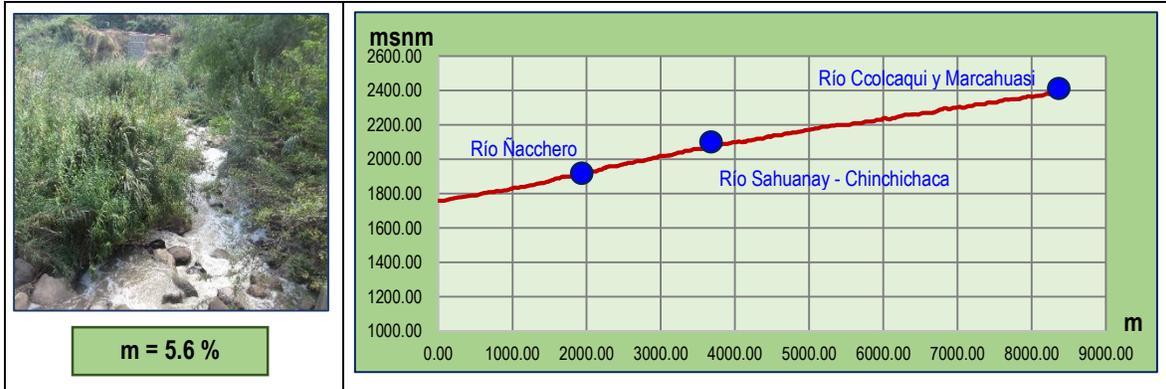


Foto 054 (Izquierda): El río Mariño en el sector de San Gabriel, en los meses de Junio-Julio. Gráfico 011: Perfil topográfico del río Mariño y en puntos azules, la confluencia de algunos tributarios. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

- a) **MARCAHUASI.** El río homónimo (Foto 055), se ubica en el sector nor-este de la ciudad de Abancay, presenta un cauce en dirección NE-SO, teniendo como punto de nacimiento hídrico, los cerros Incaperqa y Aysar Cóndor, con las quebradas de Pukatoroyoc, Simpe y Muñayoc respectivamente. El río Marcahuasi es uno de los tributarios principales del río Mariño.

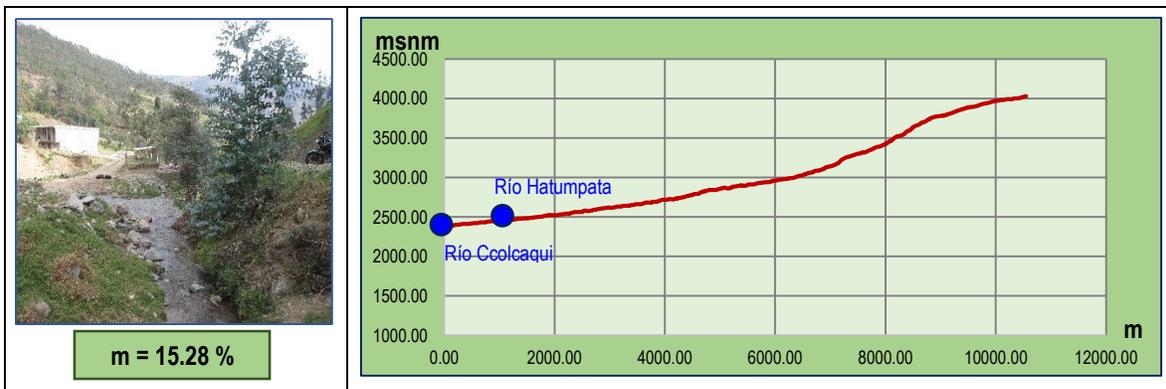


Foto 055 (Izquierda): Flujo hídrico del río Marcahuasi, en el sector de Marcahuasi. Gráfico 012: Perfil topográfico del río Marcahuasi y en puntos azules, la confluencia de algunos ríos. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

- b) **SAHUANAY - CHINCHICHACA.** Su origen se da a partir de la desglaciación del Nevado del Ampay, atravesando con su curso por las lagunas de Uspacocha y Anqascocha, el río recibe el nombre de Sahuanay (Foto 056), el mismo que tiene como afluentes a la quebrada Ullpahuaycco y Carboncanan, que al confluir a la altura del Colegio Miguel Grau, dan origen al río Chinchichaca, que finalmente drena sus aguas al Mariño en el sector de Illanya, al sur-oeste de la ciudad de Abancay.

El drenaje del río Sahuanay-Chinchichaca (Gráfico 013), tiene una orientación NNE-SSO. Y tomando en consideración dicha orientación a nivel geodinámico, es una de las microcuencas que presenta mayor peligro para la ciudad de Abancay, ya que en crecidas extraordinarias, aumentan considerablemente su caudal, que sumados a lo estrecho de su cauce a causa de la ocupación urbana, se vuelven peligrosas ante cualquier estancamiento y posterior desborde en la calles de la ciudad. También es peligroso por el tipo de material cuaternario suelto que atraviesa en su origen y las rocas altamente fracturadas que tiene en sus nacientes.

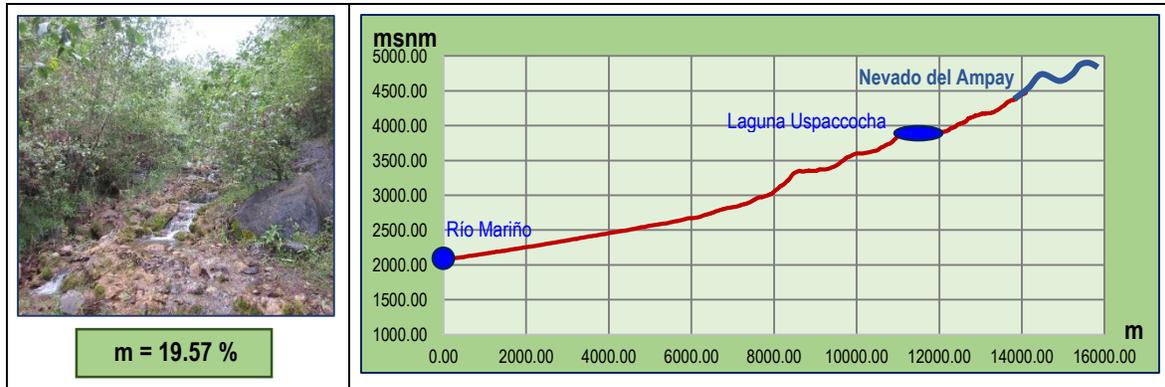


Foto 056 (Izquierda): Caudal del río Sahuanay en el sector de Chuyllurpata. Gráfico 013: Perfil topográfico del río Sahuanay-Chinchichaca y en puntos azules, la confluencia con algunos ríos. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

c) **COLCAQUI.** Es uno de los tributarios más importantes del río Mariño; sus aguas nacen en los cerros Pukatorayoc, Milpo, Laymiccasa e Incaperqa, dando lugar a las quebradas Yanaccacca y Yananhuaycco, los cuales confluyen con la quebrada Veronicayoc en el sector de Peraspata y Santo Tomás, dando origen al río Ccolcaqui (Foto 057), en el sector nor-este de la ciudad de Abancay. La microcuenca Ccolcaqui, es importante no sólo porque sus aguas son utilizadas por gran parte de la agricultura y ganadería del sector nor-este de la ciudad de Abancay, sino también porque es un área crítica respecto a accionar de la geodinámica externa e hidrometeorológica.

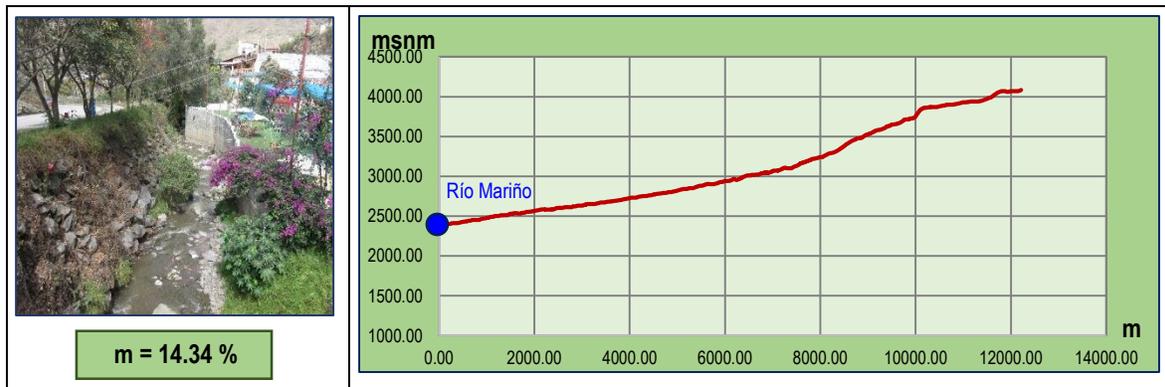


Foto 057 (Izquierda): Flujo hídrico del río Ccolcaqui, aguas debajo de la confluencia con la quebrada Veronicayoc, en el sector de Condebamba, Av. Prolongación Inca Garcilaso. Gráfico 014: Perfil topográfico del Río Ccolcaqui y la confluencia que tiene este al río Mariño. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

d) **HATUMPATA.** El río Hatumpata al igual que el río Marcahuasi y el río Ccolcaqui, representan las zonas agrícolas más productivas de la población Abanquina. El río Hatumpata (Foto 058), se forma a partir de la confluencia de dos importantes ríos o quebradas, como son, el Puruchaca y el Runtoccocha. Respecto al Puruchaca (Gráfico 015), sus aguas inician en el cerro Palla, Sombreruniyoc y Condorillo, a una altura promedio de 4 380 msnm, altura desde donde a medida que desciende es alimentado por las quebradas Chinto, Matara, Chulluncuyoc y Uchuhuacho, para así aumentar el caudal de la quebrada Puruchaca, que a su vez suma su volumen hídrico en la confluencia de la quebrada Cancallayoc y Apusura en el sector de Paclapata. Tiene una dirección predominante de E-O.



Por otra parte el río Runtoccocha (Gráfico 016), que es el río principal del otro flanco (Izquierdo) de la microcuenca Hatumpata, se origina en los cerros Moroccocha, Allpacpata y Keñuaccacca, ubicadas en el extremo sur-oriental de la ciudad de Abancay; en dicha zona existe gran presencia de lagunas, como la laguna Runtoccocha, Alfallaccocha, Jejerayccocho y Yauriccocha; los mismos que dan origen al efluente Runtoccocha, que es alimentada por las aguas de las quebradas de Llantupata, Michincca, Patahuasi y Huarapata.

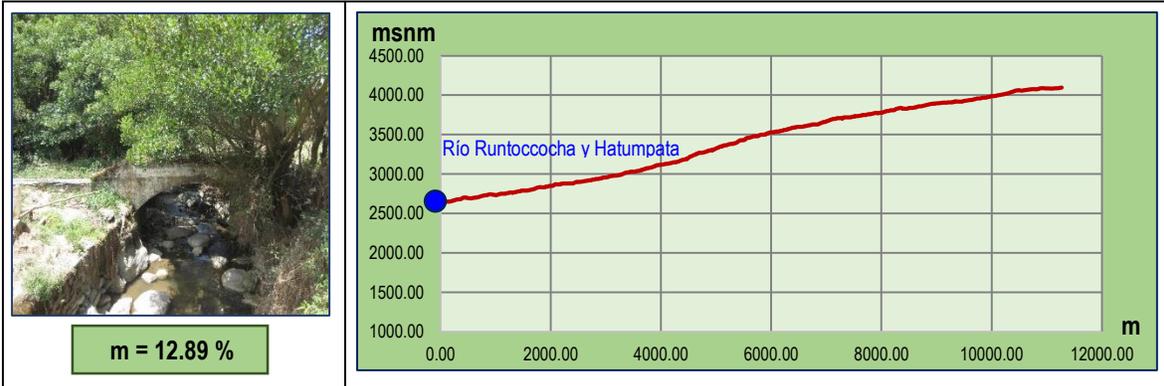


Foto 058 (Izquierda): Flujo hídrico del río Hatumpata en el sector de Aymas. Gráfico 015 (Derecha): Perfil topográfico del río Puruchaca y la confluencia que tiene este con el río Runtoccocha. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

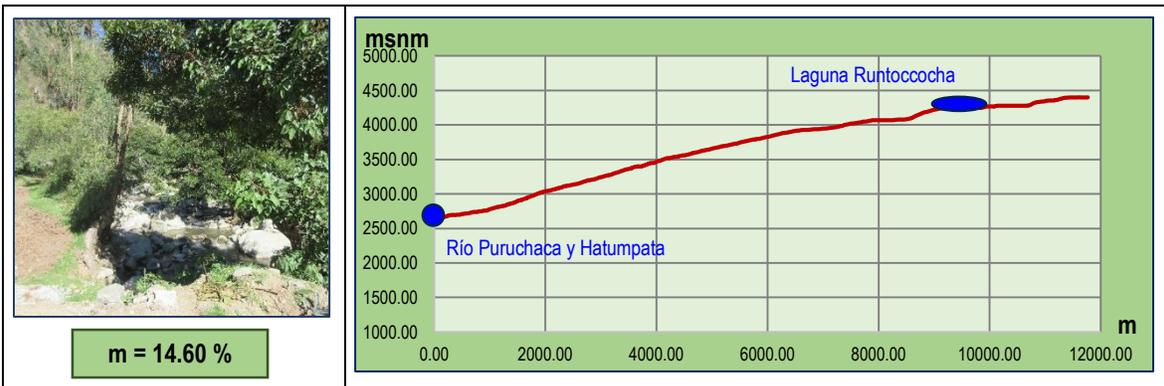


Foto 059 (Izquierda): Flujo hídrico del río Hatumpata en el sector de Hatumpata. Gráfico 016 (Derecha): Perfil topográfico del río Runtoccocha y la confluencia que tiene este con el río Puruchaca, en donde también nace el río Hatumpata. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

El río Runtoccocha y Puruchaca, confluyen en el sector de Hatumpata, punto a partir del cual, muchos pobladores lo conocen como el río Hatumpata, que fluye hasta finalmente desaguar en las aguas del Mariño en el sector de Aymas - Santa Isabel. Es preciso resaltar que la laguna Runtoccocha es la principal fuente hídrica de consumo humano de la ciudad de Abancay.

- e) **ÑACCHERO.** El río Ñacchero se origina en el cerro Qelloccasa, en el sector nor-oeste de la ciudad de Abancay, formando parte del Nevado del Ampay. El cauce tiene dos direcciones predominantes, el primero se da a partir del origen mismo de sus aguas confluyendo con la quebrada Yacupalca en el cerro Sulluhuilco, en el sector de Umaccata, hasta llegar al sector de Molinopata con dirección NO-SE. Asimismo a partir del sector de Molinopata hasta drenar sus aguas en el Mariño en el sector de Paltaypata presenta una dirección NE-SO.



Tinyacocha, Chaupiccocha y Ampachoccocha, en el cerro Charapalcca al sur-este de la ciudad de Abancay. El río Sahuinto además, es una de las principales en cuanto a la utilización que le da la población para la agricultura en el sector de San Gabriel, Pachachaca y Carmen.

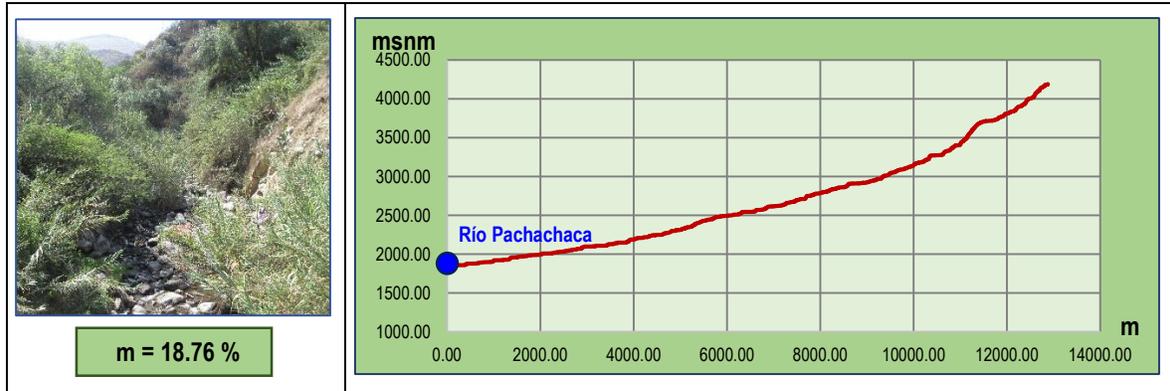


Foto 062 (Izquierda): El río Sahuinto en el sector del ramal de la carretera hacia Grau. Gráfico 019 (Derecha): Perfil topográfico del río Sahuinto y la confluencia que tiene este sobre el Pachachaca. La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.

**5.1.1.3. MASURCANA.** Las aguas de esta microcuenca se originan a partir del deshielo del Nevado del Ampay que da lugar a la laguna Willcaccocha que a su vez drena sus aguas para dar lugar al río Masurcana en el cerro Qelloccasa.

**5.1.1.4. ALAMEDA.** Es una microcuenca que se ubica en el extremo occidental del área de estudio, regando parte del suelo de la comunidad y poblado de Auquibamba. Las aguas de esta microcuenca son utilizadas por la población de Auquibamba como consumo humano y riego.

**5.1.1.5. HUANUSQUI.** Es la microcuenca con menor importancia para el estudio, ya que se encuentra bastante alejado de la ciudad de Abancay y sus aguas terminan directamente en el río Pachachaca en el sector nor-oeste del área de trabajo. Como principal afluente tiene al Qelloyacu, que se origina a partir del deshielo del Nevado del Ampay; las aguas del mismo son aprovechados como consumo humano por la población de Sahuanay. Sin embargo las aguas del río Huanusqui (Foto 063) no son aprovechadas por la población como aguas de consumo humano o para fines agrícolas.

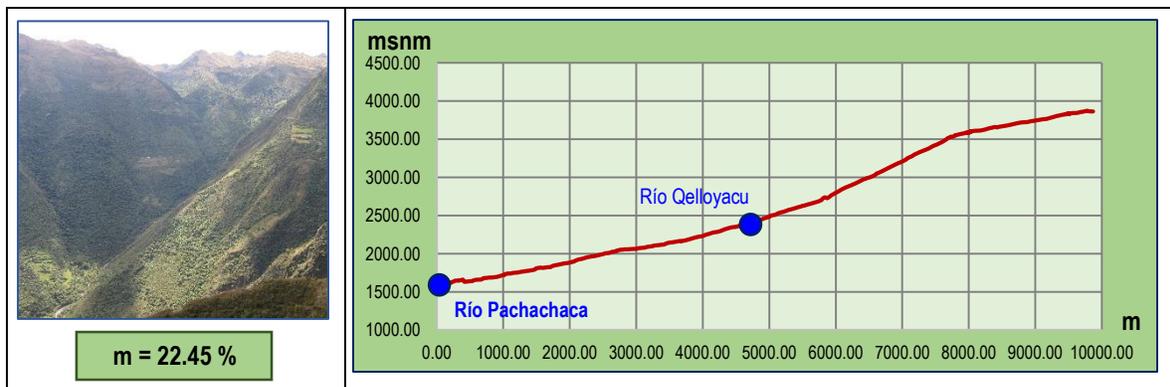


Foto 063 (Izquierda): Cauce del río Huanusqui en el sector de Karcatera y Perfil topográfico (Gráfico 020 - Derecha). La pendiente "m" es aproximada. Fuente: Elaboración Propia.



## 5.1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA MICROCUENCA MARIÑO

### 5.1.2.1. PARÁMETROS BÁSICOS

Área de Cuenca (A)	231.685 km <sup>2</sup>
Perímetro de Cuenca (P)	78.27 km
Longitud de Cuenca (L)	20.68 km
Longitud de Cauce Principal (Lp)	25.17 km
Cota Inicial Cauce Principal	1720 msnm
Cota Final Cauce Principal	4324 msnm
Longitud Total de Cauces (Lt)	308.275 km
Ancho de la Cuenca (w = A/L)	11.203 km

Tabla 009: Parámetros básicos de la microcuenca Mariño. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.2.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

#### a) FACTOR DE FORMA DE UNA CUENCA (F)

$$F = \frac{A}{L^2} = \frac{231.685 \text{ km}^2}{(20.68 \text{ km})^2} = \mathbf{054}$$

#### b) RELACIÓN DE ELONGACIÓN (R)

$$R = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} = 1.128 \frac{\sqrt{231.685 \text{ km}^2}}{20.68 \text{ km}} = \mathbf{0.83}$$

#### c) RELACIÓN DE CIRCULARIDAD (Rc)

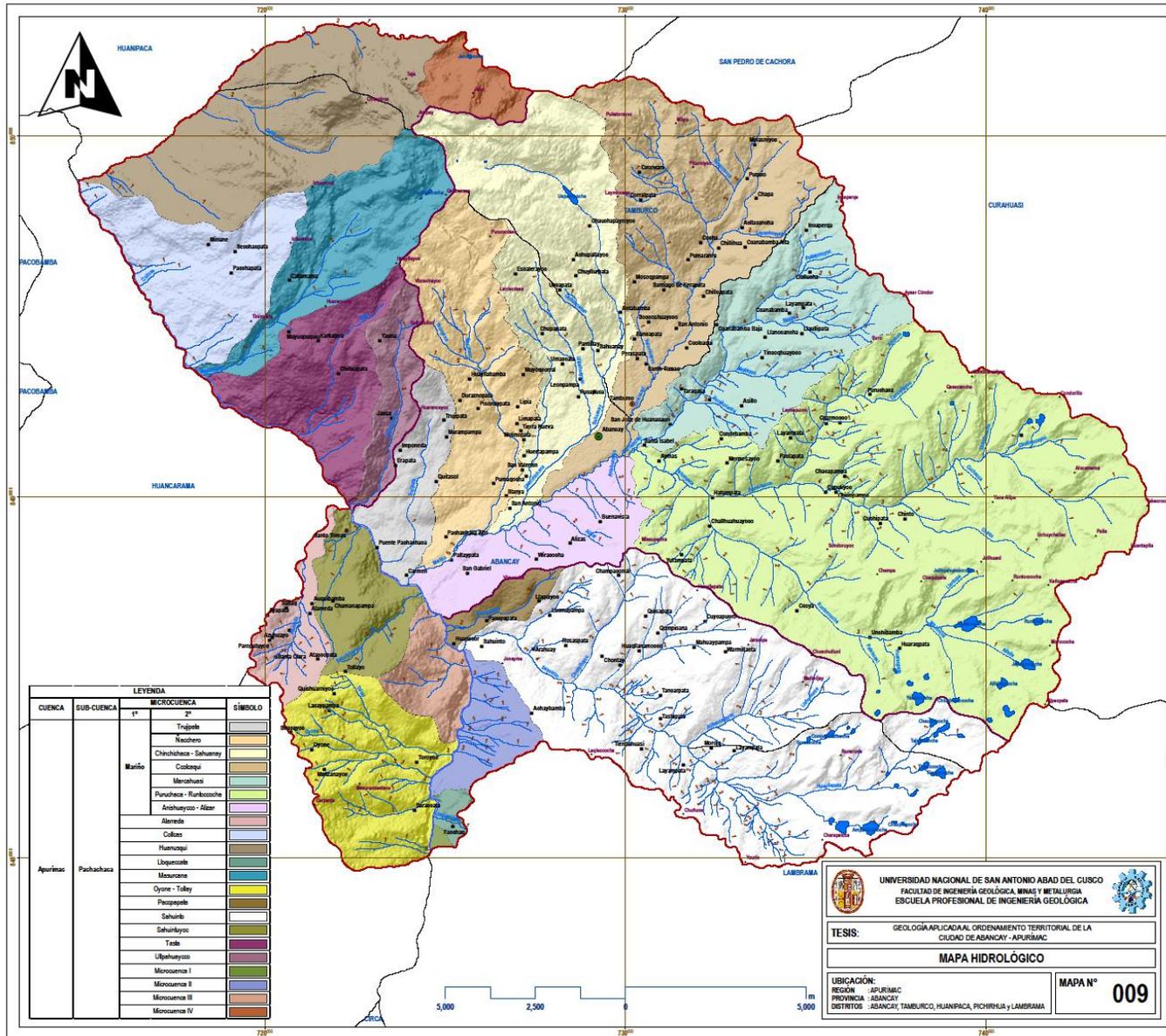
$$Rc = \frac{4A\pi}{P^2} = \frac{4 (231.685 \text{ km}^2)\pi}{(78.27 \text{ km})^2} = \mathbf{0.475}$$

d) **INDICE DE GRAVELIUS O COEFICIENTE DE COMPACIDAD (C)**. Definido como la relación del perímetro y el área de la cuenca. El análisis del índice de compacidad (C), es un indicador preventivo de inundaciones, donde el tiempo de escurrimiento dependerá sólo de la forma de la cuenca. Este coeficiente está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración.

$$C = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.282 \frac{78.27 \text{ km}}{\sqrt{231.685 \text{ km}^2}} = \mathbf{1.45}$$

CLASE DE FORMA	RANGOS DE CLASE	FORMA DE LA CUENCA	FORMA DE LA MICROCUENCA MARIÑO
Clase C1	De 1 a 1.25	Casi redonda a Oval redonda	<b>1.45</b>
Clase C2	De 1.25 a 1.50	Oval redonda a Oval oblonga	
Clase C3	De 1.50 a 1.75	Oval oblonga a Rectangular oblonga	
Clase C4	> 1.75	Casi Rectangular (Alargada)	

Tabla 010: Índice de compacidad. Fuente: FAO, 1985.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
 Hidrología: Imagen Satelital Rapid Eye 20m  
 Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8  
 Proyección y Datum:  
 Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o Uso Horario: 18 Sur  
 Escala de Análisis: 1/10 000  
 Escala de Impresión: 1/70 000  
 Mapa: Mapa Hidrológico  
 Código de Mapa: M-110  
 Elaboración y Diseño de Mapa:  
 Bach. Saizaz Gutiérrez, Esalí  
 Fecha:  
 Octubre del 2018  
 Fuente:  
 Elaboración Propia

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio

HIDROGRAFÍA

- Lagunas
- Red y Orden Hidrográfico
- Área de la Microcuenca Mariño

### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS HIDRAÚLICAS

De acuerdo a sus características hidráulicas y en función a los cauces naturales de los ríos y quebradas, se hizo el cartografiado de 22 microcuencas (Tabla 011), los mismos que ocupan el área total de nuestro estudio. Sin embargo en el siguiente cuadro se consideran las microcuencas más importantes de acuerdo al cauce principal de sus ríos y/o quebradas.

MICROCUEENCA		ÁREA (Has)	RÍO / QUEBRADA PRINCIPAL	LONGITUD (Km)
1°	2°			
Mariño	Trujipata	778.48	Trujipata	4.88
	Ñacchero	2200.99	Ñacchero	9.17
	Sahuanay - Chinchichaca	3366.07	Sahuanay - Chinchichaca	14.10
	Ccolcaqui	3512.29	Ccolcaqui	12.21
	Marchuasi	2411.72	Marchuasi	4.28
	Hatumpata	9694.47	Hatumpata	5.27
	Anishuaycco - Alizar	1204.44	Anishuaycco	1.56
	Alameda	540.04	Alameda	6.20
	Collcas	1597.24	Collcas	1.61
	Huanusqui	2872.26	Huanusqui	9.81
	Lloqueccata	109.78	Lloqueccata	1.09
	Masurcana	1638.84	Masurcana	6.66
	Oyone - Tollay	1714.25	Oyone	4.37
	Paccpapata	280.70	Paccpapata	3.68
	Sahuinto	6551.78	Sahuinto	12.88
	Sahuintuyoc	897.02	Sahuintuyoc	3.54
	Tasta	1440.79	Tasta	4.76
	Ullpahuaycco	606.29	Ullpahuaycco	6.09
	Microcuenca I	26.66		
	Microcuenca II	580.81		
	Microcuenca III	536.15		
	Microcuenca IV	450.68		

Tabla 011: Distribución hidrográfica de las quebradas de nuestra área de estudio, en relación a la clasificación hidrográfica nacional. Fuente: Elaboración Propia.

Tomando en cuenta la tabla anterior, el mapa hidrológico y la descripción líneas arriba; la microcuenca Mariño es la más importante para la ciudad de Abancay, ya que ocupa más del 50% del área total de trabajo y además concentra el mayor volumen hídrico y mayor caudal respecto a la sumatoria de las demás microcuencas.

El área de estudio ocupa un área total de 43011.75 has, de las cuales la microcuenca Mariño abarca un área de 23168.46 has, representando así un 53.87 % del total de la superficie. Asimismo la longitud del cauce del río Mariño es de 8.295 km, dimensión calculada a partir de la confluencia de los ríos Marchuasi y Hatumpata.

### 5.1.4. ESTUDIOS DE AFORAMIENTOS DE LA MICROCUENCA MARIÑO

Los estudios de tendencias de aforamientos se basan en la suma de aforos realizados en los ríos afluentes al río Mariño desde el año 1981 hasta el año 1986, realizados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

MES	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)				
	1981	1982	1983	1984	1985
Enero	1.77	-	1.66	5.17	-
Febrero	5.36	10.64	1.34	10.22	8.49
Marzo	4.73	1.02	1.30	7.34	0.11
Abril	3.00	4.86	1.22	4.54	6.14
Mayo	-	2.55	0.90	1.76	3.71
Junio	0.95	1.61	0.72	1.01	2.79
Julio	0.62	1.05	0.75	0.76	1.67
Agosto	0.62	0.80	0.81	0.86	1.42
Septiembre	0.58	0.78	0.70	0.69	1.48
Octubre	0.80	0.86	0.66	0.91	1.26
Noviembre	1.37	2.35	0.44	2.02	1.16
Diciembre	2.77	1.80	0.78	4.42	2.11
Promedio	2.05	3.39	2.94	3.57	3.57

Tabla 012. Caudales aforados del río Mariño. Fuente: CISMID

Q (m <sup>3</sup> /s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Q Media	14.69	7.59	6.96	3.04	0.92	0.55	0.38	0.74	1.22	2.83	3.63	4.58	3.93

Tabla 013. Caudales Medio mensuales aforados del río Mariño. Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

#### 5.1.4.1. TURBULENCIA DEL RÍO MARIÑO

La turbulencia hidráulica del río Mariño, se ha evaluado en función al número de Reynolds, el cual es un parámetro hidráulico adimensional, que permite evaluar la turbulencia de un curso de agua, se basa en los siguientes parámetros: velocidad, tirantes y viscosidad cinemática del agua. Como parte de la evaluación hidráulica de campo, se han obtenido en campo las velocidades y los tirantes máximos, con temperaturas promedio de 20°C, habiéndose observado una variación entre la temperatura del ambiente y la del agua, de 3°C como promedio, las velocidades se midieron con un correntómetro.

FECHA DE EVALUACIÓN	LUGAR	RÍO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	NÚMERO DE REYNOLDS (Re)	TIPO DE TURBULENCIA
16-03-2006	San Ignacio	Mariño	13.0328	33 694.893	Turbulento

Tabla 014. Turbulencia del río Mariño (Modelo de Reynolds). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

De acuerdo al valor mínimo del Número de Reynolds para establecer la turbulencia a partir del parámetro 4000, se ha observado que la turbulencia registrada en el río Mariño para un caudal de 13.0328 m<sup>3</sup>/s (El cual es un caudal promedio aproximadamente) es de 33 694.893, registrada en la Estación del Puente de Panamericana en el sector de San Ignacio, lo cual demuestra la Alta turbulencia del río Mariño.

#### 5.1.4.2. TURBULENCIA DE LOS PRINCIPALES RÍOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La turbulencia hidráulica de los principales afluentes del río Mariño se han evaluado en función del Número de Reynolds y a la incidencia que presentan estos en su curso a lo largo de la ciudad de Abancay, por lo que se han determinado zonas de aforamiento dentro de la ciudad de Abancay. Como parte de dicha evaluación hidráulica se han obtenido en campo los valores de velocidad y los tirantes máximos, con temperaturas promedio de 20°C, habiéndose observado una variación entre la

temperatura del ambiente y la del agua de 3°C como promedio. La evaluación hidráulica se desarrolló en Marzo del 2006.

RÍO	LUGAR	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	NÚMERO DE REYNOLDS (Re)	TIPO DE TURBULENCIA
Ñacchero	Grifo "El Piloto" - Carretera Panamericana	0.1471	87.561	Media
San Luis	Urb. San Luis - Carretera Panamericana	0.0884	262.998	Alta
Ullpahuaycco	Puente de Concreto Armado	0.0070	8.928	Baja
Chinchichaca	Pontón de Madera - Urb. Nueva Granja	0.1625	90.689	Media
Veronicayoc	Puente Veronicayoc - Carretera Panamericana	0.0400	22.321	Media
Ccolcaqui	Puente Capelo - Carretera Panamericana	2.1418	597.610	Alta
Ccolcaqui	Puente Condebamba - Urb. Condebamba	-	-	-
Marcahuasi	Punte Aymas	1.0636	395.679	Alta
Hatumpata	Puente Calicanto	9.0446	1 281.830	Muy Alta
Varios cauces	Puente Anishuaycco	-	-	-

Tabla 015. Turbulencia de los principales afluentes del río Mariño (Modelo de Reynolds). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

De acuerdo al valor mínimo del Número de Reynolds para establecer la turbulencia a partir del parámetro 4000, se ha observado que la turbulencia registrada en los diferentes ríos de la microcuenca del río Mariño (Tabla 015), son muy variables dependiendo del caudal, la velocidad y el tirante.

De esta forma es que se han definido cuatro tipos de turbulencia:

- Muy Alta para Números de Reynolds mayores a 1 000.000.
- Alta para Números de Reynolds comprendidos entre 100.00 a 1 000.000.
- Media para Números de Reynolds comprendidos entre 10.00 a 1 000.000.
- Baja para Números de Reynolds comprendidos entre 4.000 a 10.000.

## 5.2. CLIMA y METEOROLOGÍA

Para la descripción del clima y la caracterización meteorológica se utilizó información registrada por el SENAMHI de la estación hidrometeorológica que se encuentra dentro del área de estudio "Estación Meteorológica de San Antonio", que cuenta con registros de las variaciones climatológicas que alcanza básicamente a la microcuenca del río Mariño. En esta sección se describirá el comportamiento de la precipitación, temperatura, humedad relativa, la velocidad y la dirección de los vientos.

### 5.2.1. ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SAN ANTONIO

Ubicada en el sector de San Antonio, en el distrito de Tamburco. Viene siendo operativo a partir del año 1964, cuyos registros básicamente son de precipitaciones diarias.

Estación	Ubicación			Coordenadas UTM WGS84			Periodo
	Sector	Distrito	Provincia	Este	Norte	Altitud	
San Antonio	San Antonio	Tamburco	Abancay	731869	8494968	2795	2013-2017

Tabla 016. Coordenadas geográficas de la Estación Meteorológica de San Antonio. Fuente: Elaboración Propia.



La Precipitación promedio anual es de 598.24 mm, la precipitación máxima anual de 875.00 mm y la precipitación mínima anual de 179.00 mm. Por lo que se pudo observar una mayor intensidad de precipitaciones en altitudes superiores del área de estudio.

### 5.2.1.1. TEMPERATURA

Los valores representativos de temperatura media ambiental y los regímenes térmicos del área de estudio corresponden a los recopilados en la Estación de San Antonio ubicada en plena carretera Abancay-Cusco, en el sector de San Antonio ubicado en el noreste de la ciudad de Abancay. En base a la información recopilada en la estación meteorológica de San Antonio se obtiene que la temperatura media anual en el área de estudio es igual a 17.94 °C.

T° C	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
T° Media	17.73	17.63	17.50	17.88	17.71	17.01	16.67	17.56	18.57	19.12	19.33	18.61	17.94
T° Máxima	23.00	22.67	22.49	23.67	23.58	23.51	23.21	23.88	24.90	25.57	25.88	24.53	23.91
T° Mínima	12.63	12.69	12.27	12.07	11.57	10.67	10.23	11.28	12.45	12.99	13.30	13.10	12.10

Tabla 017. Registro de la temperatura en la ciudad de Abancay. Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

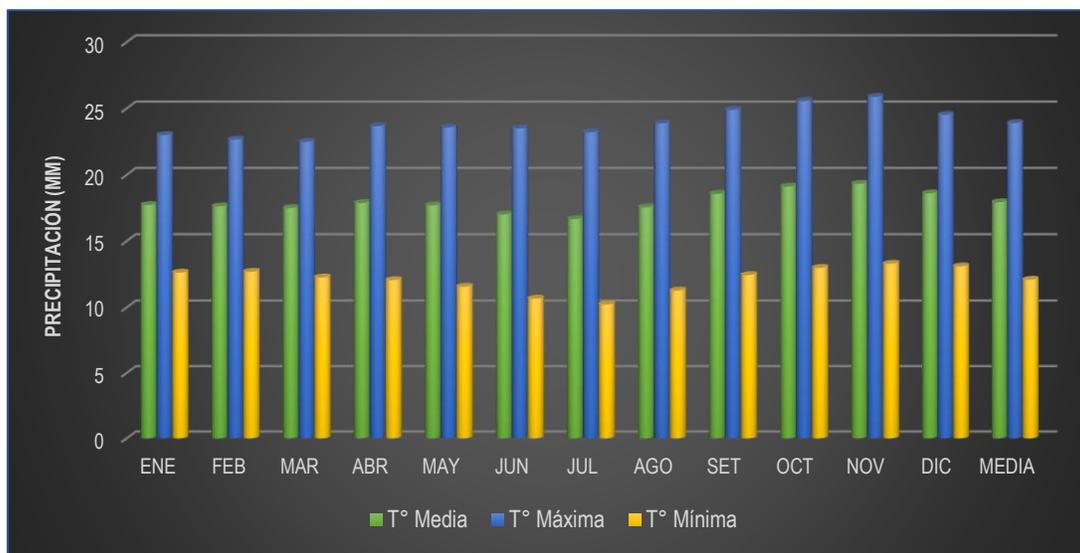


Gráfico 021. Variación de la T° anual en la ciudad de Abancay. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1.2. PRECIPITACIÓN

Los valores representativos de precipitación total y los regímenes pluviométricos del área de estudio corresponden a la recopilación de datos en la estación antes mencionada. La precipitación media mensual registrada en dicha estación varía entre 2.16 mm y 113.00 mm, siendo el promedio anual de 49.85 mm. La precipitación mínima se presenta en el mes de Junio, mientras la máxima en Febrero.

PP (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
PP Media	110.81	113.00	104.70	41.41	7.05	2.16	2.57	6.62	11.35	41.41	70.22	86.95	49.85

Tabla 018. Precipitaciones mensuales en la ciudad de Abancay (Medias mensuales de 40 años). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

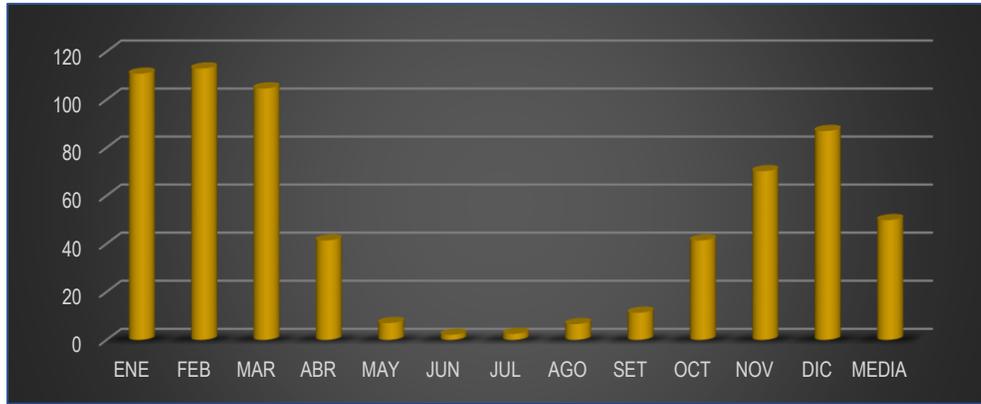


Gráfico 022. Variación de la precipitación media mensual en la ciudad de Abancay. Fuente: Elaboración Propia.

PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES (1965 – 2015)							
Año	PP Total	Año	PP Total	Año	PP Total	Año	PP Total
1965	602.00	1978	673.00	1991	205.00	2004	812.40
1966	697.00	1979	544.00	1992	385.00	2005	758.30
1967	833.00	1980	475.00	1993	847.00	2006	790.10
1968	660.00	1981	770.00	1994	798.00	2007	824.60
1969	875.00	1982	737.00	1995	630.00	2008	636.60
1970	629.00	1983	494.00	1996	644.00	2009	799.20
1971	560.00	1984	774.00	1997	541.00	2010	787.10
1972	605.00	1985	616.00	1998	747.00	2011	758.30
1973	516.00	1986	547.00	1999	806.00	2012	737.00
1974	419.00	1987	477.00	2000	676.00	2013	747.00
1975	405.00	1988	532.00	2001	953.00	2014	760.00
1976	635.00	1989	433.00	2002	989.00	2015	780.00
1977	664.00	1990	179.00	2003	958.00		

Tabla 019. Precipitaciones anuales en la ciudad de Abancay (Intervalo de 50 años). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

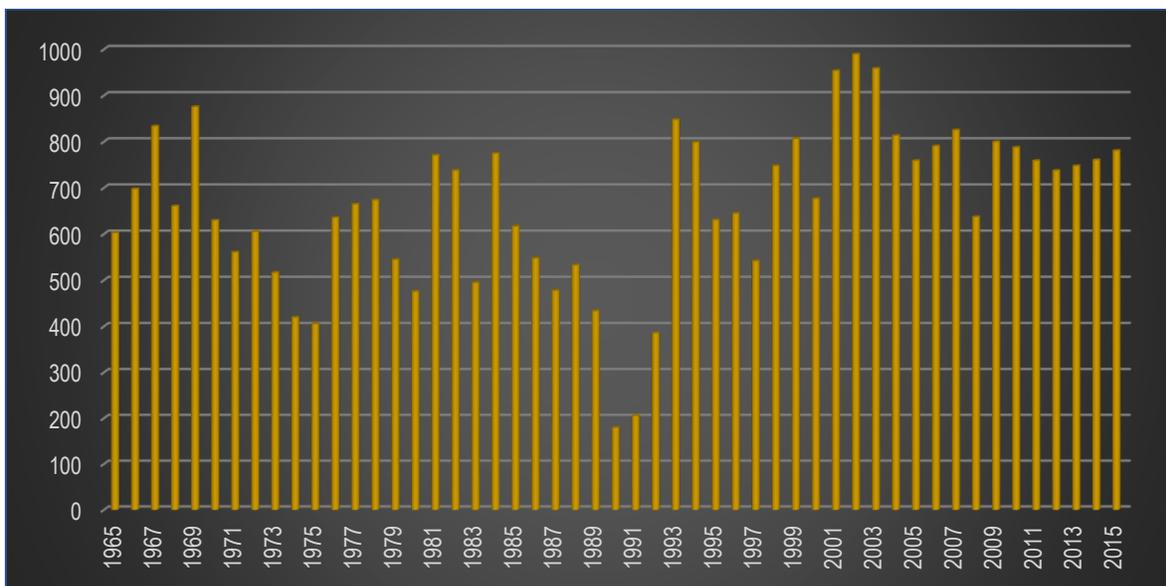


Gráfico 023. Variación de la precipitación anual en el período 1965 - 2015, en la ciudad de Abancay. Fuente: Elaboración Propia.



### 5.2.1.3. HUMEDAD RELATIVA

Consiste en la relación porcentual entre la cantidad de humedad en un espacio dado y la cantidad que ese volumen podría contener si estuviera saturado.

La humedad relativa promedio mensual que se registró en la Estación de San Antonio oscila entre 66.40 % y 87.13 %. Los valores más bajos se observan en los meses de Junio, Julio y Noviembre; mientras que los más altos se observan en los meses de Febrero, Marzo y Abril.

HR (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
HR Media	76.10	80.38	87.13	86.20	81.13	79.56	77.67	78.22	80.11	81.76	66.40	74.49	79.10

Tabla 020. Registro de la Humedad relativa media mensual (2010-2016). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.



Gráfico 024. Variación de la Humedad relativa media mensual en la ciudad de Abancay. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1.4. VELOCIDAD y DIRECCIÓN DEL VIENTO

La velocidad y dirección del viento es generado por la fuerza de la gradiente de presión, el cual, entre dos puntos dotados de diferente presión, el aire se dirigirá desde el punto de mayor presión al de menor presión y a una velocidad tanto mayor como sea la diferencia de presiones. Además de ello las dos características fundamentales del viento son la dirección y la velocidad, siendo la primera el punto del horizonte de donde viene el viento.

Para el análisis de la velocidad del viento se emplearon los registros de la estación meteorológica de San Antonio, registrándose una velocidad media mensual que varía entre 1.27 m/s a 2.92 m/s. De acuerdo a la escala de Beaufort se denominan vientos flojitos o brisas leves y el efecto ocasionado es la caída de hojas de los árboles.

VV (m/s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
VV Media	2.00	1.27	1.73	2.10	2.60	2.67	2.92	2.44	2.70	2.25	2.50	2.03	2.27

Tabla 021. Registro de la Humedad relativa media mensual (2010-2016). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.



Gráfico 025. Variación de la Velocidad de los vientos media mensual en la ciudad de Abancay. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3. HIDROGEOLOGÍA

Trata del estudio de la hidrología subterránea que implica principalmente a las rocas y suelos por debajo de la superficie. En el presente estudio se ha hecho la caracterización hidrogeológica de las unidades geológicas más importantes, desde el punto de vista de la capacidad de almacenamiento, transmisividad, producción de aguas y explotación de aguas subterráneas.

Así, para el presente trabajo desarrollamos dos tipos de clasificación hidrogeológica: una, tomando estrictamente el aspecto litológico de las formaciones geológicas, de acuerdo a la metodología del INGEMMET y la otra tomando datos recopilados del Proyecto “Gestión Integral de la Microcuenca Mariño”, en el cual se realiza una clasificación de acuerdo a ensayos de infiltración directa en las diversas formaciones geológicas. Y finalmente al concluir el presente capítulo se realiza una tabla comparativa para determinar las diferencias entre ambas clasificaciones.

Nuestra primera clasificación hidrogeológica de acuerdo a la agrupación de litologías en las formaciones geológicas es relativamente subjetiva, sin embargo será debido a la predominancia litológica la que se establezca el comportamiento o unidad hidrogeológica de una formación.

**5.3.1. CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS.** Para entender un mapa hidrogeológico, es necesario conocer la clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico. Las unidades hidrogeológicas se clasifican en: acuíferos, acuíclados, acuitardos y acuífugos (Tabla 022). Así en el área de estudio se han determinado diversos acuíferos: kársticos, fisurados, porosos no consolidados y sedimentarios.

#### 5.3.1.1. ACUÍFEROS

Es toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea (gravas, arenas, calizas, etc). Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad, en condiciones que pueda ser económicamente explotable. Estas formaciones tienen una alta capacidad de drenaje en las que se pueden perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, etc. Los acuíferos pueden ser porosos consolidados o no consolidados, fisurados, kársticos o combinaciones de estos.

En realidad no existen unidades o formaciones geológicas completamente impermeables y tampoco formaciones geológicas con porosidad nula. Por lo tanto, en la naturaleza sólo existirían acuíferos y acuitardos, sin embargo en la hidrogeología es habitual usar la clasificación anterior. La clasificación más común de acuíferos está basado en la litología de la porosidad media en la que estos se desarrollan (Kresic, 2009). El funcionamiento hidrogeológico de un sistema acuífero es diferente al de otro ambiente. De acuerdo a ello, se pueden diferenciar tres tipos:

**a) Acuífero en depósitos inconsolidados (Cuaternario)**

- Acuífero poroso no consolidado.

**b) Acuífero en rocas sedimentarias**

- Acuífero fisurado sedimentario (alta, media o baja productividad).
- Acuífero kárstico (por disolución).
- Acuífero fisurado kárstico.
- Acuífero sedimentario (alta, media o baja productividad).
- Acuífero vulcano-sedimentario.

**c) Acuífero en rocas cristalinas**

- Acuífero fisurado volcánico.
- Acuífero fisurado intrusivo (limitaciones).
- Acuífero fisurado kárstico.
- Acuífero sedimentario (alta, media o baja productividad).
- Acuífero vulcano-sedimentario.

### 5.3.1.2. ACUITARDOS

Son las rocas o suelos que tienen la capacidad de almacenar agua en cantidades muy importantes, pero las transmiten con dificultad o muy lentamente en su estructura interna o en forma localizada debido a su poca permeabilidad. Se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arcillas limosas, arenas arcillosas, etc), y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales que puedan servir a alguna necesidad hídrica, pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

Los acuitardos más conocidos son los depósitos de conos aluviales y depósitos lacustres; sin embargo en estos materiales hay niveles de arenas que corresponde a acuíferos confinados. Le siguen en importancia las lutitas y limolitas, además de los conglomerados. Igualmente, existen acuitardos metamórficos o los acuitardos intrusivos que corresponden a los cuerpos batolíticos.

### 5.3.1.3. ACUICLUDOS

Son un tipo de formación capaz de almacenar agua en grandes cantidades, incluso poder llegar hasta un punto de saturación, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad. Este tipo de material se caracteriza por ser poroso pero no permeable, como las arcillas.





CLASIFICACION			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	SISTEMA HIDROGEOLOGICO	FORMACIÓN HIDROGEOLOGICA		
Acuífero	Poroso No Consolidado	Acuífero Fluvial	Gravas y arenas depositados en bancos y terrazas	Formaciones permeables no consolidados
		Acuífero Fluvioaluvial	Gravas, arenas y limos entremesclados	
		Acuífero Morrénico	Bloques heterométricos y gravas en matriz muy variable	
		Acuífero Fluvioglacial	Gravas y arenas en matriz limoarenosa	
	Sedimentario	Acuífero Murco	Niveles de areniscas rojizas intercaladas de limoarenitas, areniscas cuarzosas y feldespáticas, y conglomerados	Formaciones sedimentarias permeables
		Acuífero Labra	Areniscas cuarzofeldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas areniscas calcáreas y/o calizas	
		Acuífero Puente	Areniscas intercaladas con niveles de calizas fosilíferas	
		Acuífero Socosani	Calizas grises intercaladas con niveles de limoarcillitas areniscas y pelitas	
		Acuífero Gramadal	Niveles de calizas intercaladas con lutitas y areniscas con presencia calcárea	
		Acuífero Hualhuani	Areniscas cuarzosas blancas y grises intercaladas con pelitas negras carbonosas	
		Acuífero Copacabana	Estratos de areniscas grises con secuencias de lutitas negras bien potentes	
	Kárstico	Acuífero Arcurquina	Calizas marinas grises intercaladas con niveles lutáceos y ocasionales dolomías	Formaciones permeables por karstificación y fracturamiento
		Acuífero Copacabana	Calizas micríticas marinas con niveles de pelitas negras hacia la base y el techo de la unidad	
	Volcánico - Sedimentario	Acuífero Mitu	Coladas, aglomerados y brechas volcánicas de basalto y basalto andesítico	Rocas vulcanosedimentarias permeables
	Acuitardo	Poroso No Consolidado	Acuitardo Aluvial	Conos aluviales y de deyección, compuesto por gravas en una matriz limoarenosa
Acuitardo Coluvial			Depósitos de pendientes, incluidos los deslizamientos	
Acuitardo Coluvioaluvial			Depósitos de pendientes, incluidos deslizamientos, pero dominados por ambientes aluviales	
Volcánico		Acuitardo Sañayca	Roca volcánica y subvolcánica	Materiales permeables de pequeña extensión con una producción nula

CLASIFICACION			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	DESCRIPCION HIDROGEOLOGICA
UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	SISTEMA HIDROGEOLÓGICO	FORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA		
Acuitardo	Intrusivo	Acuitardo Monzogranito	Monzogranito	Rocas con fracturas superficiales, cuya permeabilidad se reduce a medida que aumenta la profundidad
		Acuitardo Cuarzodiorita	Cuarzodiorita	
		Acuitardo Gabro	Gabro	
		Acuitardo Granodiorita	Granodiorita	
	Metamórfico	Acuitardo Ortogneis de Abancay	Ortogneis	Rocas metamórficas de escaso interés hidrogeológico

Acuicludo	Sedimentario	Acuicludo Ausangate	Limolitas, limoarenitas y arcillitas pardo rojizas	Materiales de baja permeabilidad
-----------	--------------	---------------------	----------------------------------------------------	----------------------------------

Tabla 023. Clasificación de unidades hidrogeológicas de las formaciones geológicas del área de trabajo, de acuerdo a la metodología del INGEMMET. Fuente: Elaboración Propia.

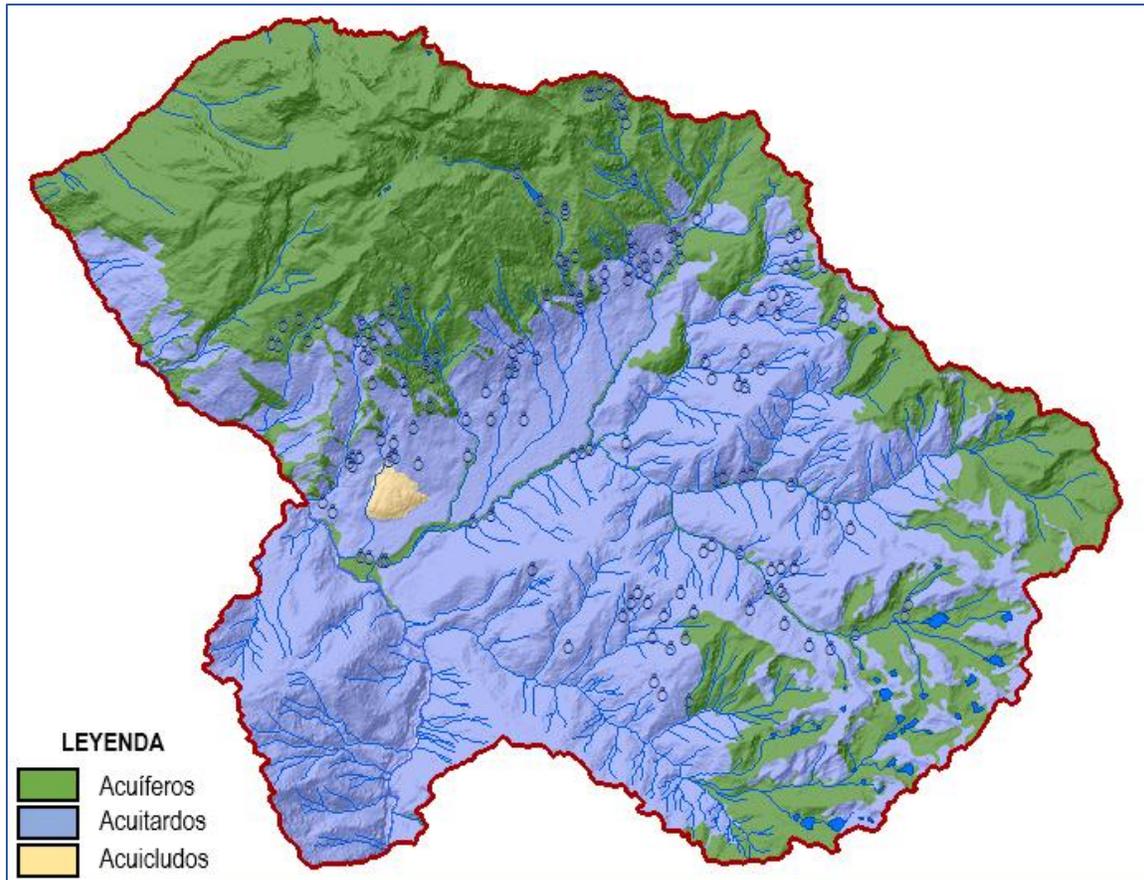
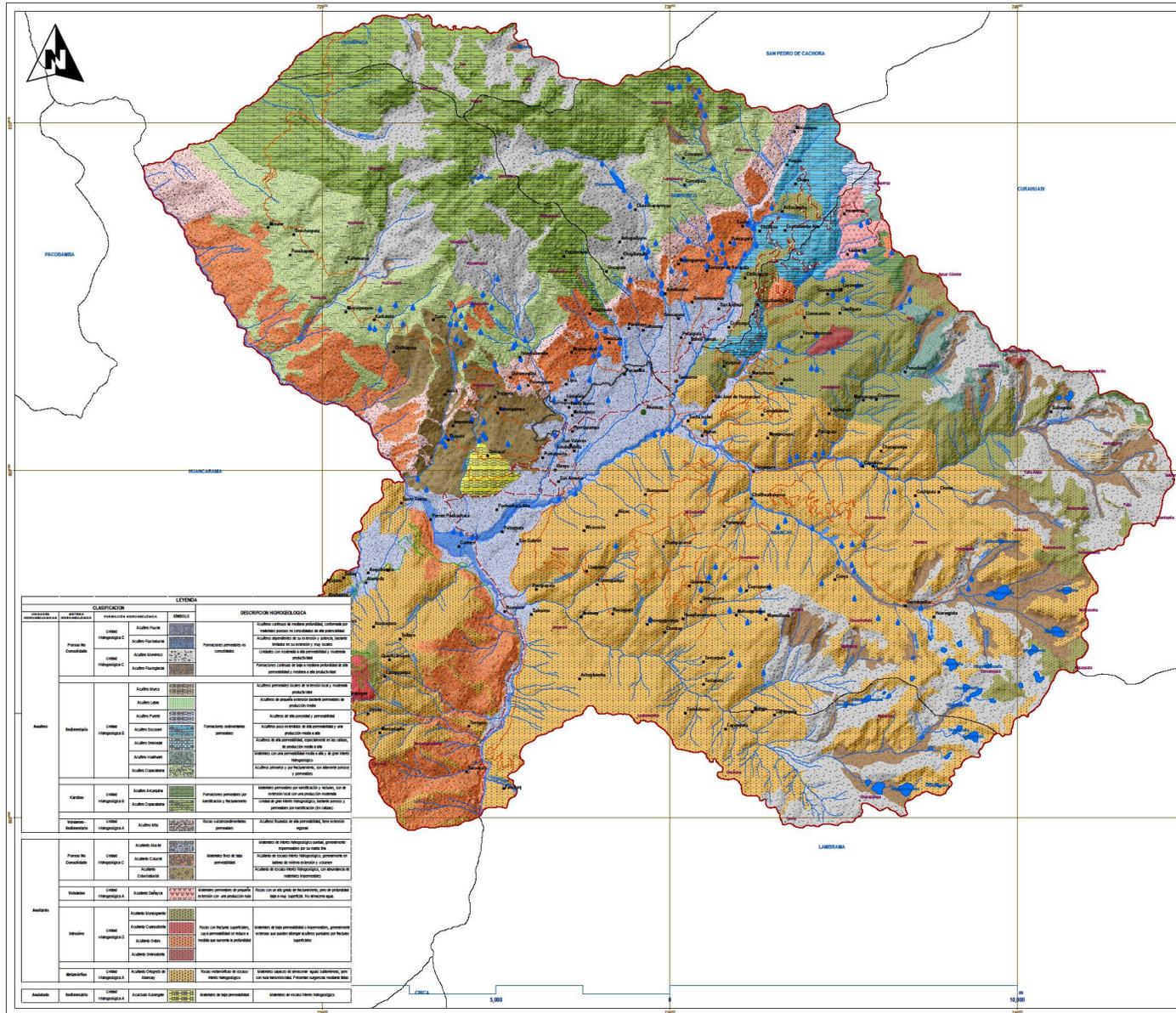


Gráfico 027. Unidades hidrogeológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia.



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1:100 000  
 Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1:100 000  
 Hidrogeología e Inventario Hidrogeológico (INSHIMET) y Proyecto Mando-Abancay  
 Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8  
 Proyección y Datos:  
 Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o UTM Horizontal: 18 Sur  
 Escala de Análisis: 1:10 000  
 Escala de Impresión: 1:50 000  
 Mapa: Mapa Hidrogeológico  
 Código de Mapa: MREG  
 Elaboración y Diseño de Mapa:  
 Rocio Salazar Gutiérrez, César  
 Fecha: Octubre del 2018  
 Fuente:  
 Elaboración Propia

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- Red Hidrográficas
- Morantes y/o Surgencias de Agua
- Lagunas

RED VIAL

- Vía Nacional
- Vía Regional
- Vía Vecinal o Rural
- Vía de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLÓGIA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - AREQUIBA

MAPA HIDROGEOLÓGICO

UBICACIÓN:  
 REGIONAL: CUSCO  
 DEPARTAMENTO: CUSCO  
 DISTRITO: ABANCAY  
 DISTRITOS: ABANCAY, TAMBURCO, HUAMPICA, PICHIRLA Y LAMERAMA

MAPA N° 010

### 5.3.3. CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

Se ha establecido las características hídricas de las diferentes formaciones o unidades geológicas del área de trabajo, como resultado del estudio geológico-hidrogeológico y la evaluación en campo de las formaciones más importantes (ensayos de infiltración directa). Después de haber estudiado la naturaleza litológica de las formaciones geológicas se ha podido clasificar las mismas entre las siguientes categorías:

#### 5.3.3.1. COMPACTO

Se refiere a afloramientos que se dan en la zona oriental y noreste del Ortogneis de Abancay (Foto 064), donde dicha roca se presenta con menores niveles de fracturamiento, más masiva. Dichas características litológicas se ubican en los sectores de Chacapampa, Challhuahuaycco, Asilo, Layampata, Runtoccocha y Ayaorcco; los mismos que no tienen el mismo nivel de permeabilidad, siendo este limitado sólo a niveles superficiales. El intrusivo de Cotabambas Curahuasi y el de Lambrama Marjune; compuesto por granodioritas, gabros y monzogranitos, respectivamente, se presentan fuertemente alterados, transformados superficialmente en arcillas, formando considerables depósitos eluviales, los mismos que tienen comportamiento casi impermeable y que al hallarse cubiertos por suelos con alto contenido orgánico se hacen todavía más impermeables.



Foto 064 (Izquierda). Afloramiento de rocas compactas ortognésicas, bastante fracturados superficialmente en el sector de Buenavista. Foto 065 (Derecha): Rocas monzograníticas a dioritas?, en el sector de Ccanabamba Baja.

#### 5.3.3.2. COHERENTE Y POROSO

Como coherentes y porosos se les ha considerado a las rocas metamórficas ortognésicas (Foto 066), que afloran en los sectores de Cuycapucro, Aymas Baja y Alta, Quisapata, San Gabriel, Rosaspata, Paccapata y Arahuy; ubicados en la zona oriental y sur respecto a la ciudad de Abancay. Se ha podido verificar que existe una porosidad primaria en dichas rocas producto del espaciamiento intergranular entre cuarzos, biotitas y feldespatos, y una porosidad secundaria generada por las diaclasas de flujo y fracturamiento y/o fisuramiento transversal.

Las rocas vulcanosedimentarias del grupo Mitu también muestran una porosidad primaria y secundaria (Foto 067), y buena aptitud transmisiva, aspecto que le permite captar la mayor cantidad de las aguas de precipitación.

Las facies detríticas de la Fm. Murco, se presentan con una porosidad primaria tanto en las areniscas cuarzosas como en las areniscas feldespáticas blancas. Asimismo los afloramientos con intercalaciones que presenta en su tope de areniscas, conglomerados, limos arcillosos y limos arenosos rojizos, muestran una fuerte porosidad secundaria debido a las fracturas y fisuras que presentan en su estructura. Otra unidad que presenta una porosidad primaria, debido a que sus afloramientos se encuentran altamente fracturados y fisurados, especialmente en las zonas alteradas (feldespatos y plagioclasas) son las rocas del volcánico Sañayca, que se observan en los sectores de Incaperqa y Llullucha.



Foto 066 (Izquierda). Rocas ortognéicas intergranulares en el sector de Quisapata. Foto 067 (Derecha): Estratos de areniscas y lutitas rojas bastante porosos y fracturados del grupo Mitu, en el sector de Sahuanay.

### 5.3.3.3. POROSO

En este grupo se encuentran fundamentalmente las formaciones con contenido de rocas calcáreas, así podemos identificar a las calizas, de color gris claro, oscuro y calizas oscuras, intercaladas con lutitas; la mayoría de ellas plegadas, fracturadas y fisuradas (Foto 068), pertenecientes a la unidad superior del grupo Copacabana. Asimismo tenemos en el área de estudio, margas negras, lutitas fuertemente fracturadas y estratos de calizas pertenecientes a la unidad inferior del grupo Copacabana. Es debido a esa porosidad secundaria que las rocas del grupo Copacabana se constituyen en los acuíferos más importantes para el presente trabajo, sumado además a su alta permeabilidad y a su gran extensión, aflorando en todo el Anticlinorio del Ampay (Foto 069).

Asimismo, dentro de este grupo de unidades porosas, tenemos al grupo Yura con la Fm. Puente, la que está constituida por areniscas de grano medio a fino, intercaladas con niveles de pelitas negras a grises a veces laminadas con niveles de calizas. La Fm. Labra, formada por areniscas cuarzo-feldespáticas de coloración blanquecina, amarillentos y grises, con intercalaciones milimétricas de arenisca de grano fino a medio o con limoarenitas, limoarcillitas y lutitas negras. La Fm. Gramadal, con intercalaciones de rocas pelíticas, lutitas o limoarcillitas, con areniscas grises oscuras, en el nivel inferior con niveles de areniscas gris azuladas; y la Fm. Hualhuani, compuesta por sedimentos de areniscas cuarzosas blancas y grises de grano fino, masivas y con laminaciones, se presentan intercaladas con niveles de pelitas negras carbonosas. Tienen porosidad primaria, aunque con ciertas limitaciones por la recristalización producida por el metasomatismo de contacto de los intrusivos de su periferie. Además se tiene también a la Fm. Arcurquina, que es fundamental por su porosidad secundaria.



Foto 068 (Izquierda). Estratos de calizas y lutitas altamente fracturadas y plegadas del grupo Copacabana en el sector de Pacchaccpata. Foto 069 (Derecha): Grandes y potentes estratos de rocas calcáreas en el flanco oriental del Nevado del Ampay.

#### 5.3.3.4. SUELTO Y POROSO

Dentro de esta clasificación tenemos a los depósitos cuaternarios, como son las morrenas, los depósitos locales eluviales, coluviales, aluviales y la interacción de los mismos. Absolutamente todos estos materiales son sueltos o ligeramente compactados como las morrenas.

#### 5.3.4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN ACUÍFEROS

##### 5.3.4.1. POROSIDAD

Como consecuencia de la textura y estructura de las rocas y suelos tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de notables dimensiones y están generalmente saturados en aire, en efecto, el agua las atraviesa rápidamente impulsadas por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macro-poros, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retenerlas, mientras que los arcillosos son ricos en micro-poros lo cual hace que tengan una elevada capacidad de retención de agua.

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Arcillas	40 - 50	0 - 5
Limos	35 - 50	3 - 19
Arenas finas y arenas limosas	20 - 50	10 - 28
Arenas gruesas o bien clasificadas	21 - 50	10 - 35
Gravas	25 - 40	13 - 26
Lutitas no alteradas	1 - 10	0.5 - 5
Lutitas fracturas y/o alteradas	30 - 50	
Areniscas	5 - 35	0.5 - 10
Calizas y dolomías no karstificadas	0.1 - 25	0.1 - 5
Calizas y dolomías karstificadas	5 - 50	5 - 40
Rocas ígneas y metamórficas no fracturadas	0.01 - 1	0.0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 - 10	0.00005 - 0.01

Tabla 024. Valores estimados de porosidad, según Sender (1998). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

Los acuíferos se pueden clasificar en función del tipo de materiales que los constituyen o según sus circunstancias hidráulicas y estructurales. En el primer caso los acuíferos pueden ser: porosos, donde su permeabilidad es debida a su porosidad intergranular (porosidad primaria), lo constituyen las gravas, arenas, areniscas cuarzosas, areniscas arcósicas, conglomerados, etc.; y kársticos y fisurados, donde las permeabilidades son debidas a grietas y fisuras, ya sea de origen mecánico o por disolución, entre ellos se encuentran las calizas, dolomías, granitos, basaltos, etc.

Así, la porosidad en los diversos materiales litológicos varía en los siguientes límites (Tabla 025):

UNIDAD GEOLÓGICA	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)	PERMEABILIDAD (m/día)
Ortogneis de Abancay (Zona Norte y NE)	1	0.1	< -1
Intrusivo Cotabambas Curahuasi	1	0.1	< -1
Ortogneis de Abancay (Alfapata, San Gabriel, etc)	8	6.5	-10 > 100
Grupo Mitu	6	3.5	5 - 22
Fm. Murco	12	8	10 - 26
Fm. Ausangate	12	10	10 - 26
Volcánico Sañayca	6	4	15 - 40
Grupo Copacabana	12	10	-10 > 100
Grupo Yura	14	8	10 - 35
Depósitos Morrénicos	18	14	2 - 17
Depósitos Aluviales	20	15	12 - 25
Depósitos Coluviales	18	10	3 - 15
Depósitos Eluviales	20	8	< 1 - 10

Tabla 025. Valores estimados de porosidad y permeabilidad, basado en pruebas y mediciones de campo en el área de estudio. Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

#### 5.3.4.2. PERMEABILIDAD

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él, una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. Para ser permeable, una material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Permeabilidad	Muy Lenta	Lenta	Moderadamente Lenta	Moderada	Moderadamente Elevada	Elevada	Muy Elevada
cm/h	< 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 2.0	2.0 - 6.5	6.5 - 12.5	12.5 - 25	> 25

Tabla 026. Clasificación de la permeabilidad. Fuente: Soil Conservation Service - EE.UU.

PERMEABILIDAD RELATIVA	K (cm/s)	SUELO TÍPICO
Muy Permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente Permeable	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco Permeable	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco Permeable	$1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Tabla 027. Valores relativos de permeabilidad o conductividad hidráulica, según, Custodio y Llamas, 1993.

### 5.3.4.3. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Es el factor de proporcionalidad de la Ley de Darcy, que trata del flujo viscoso de agua en el suelo, es decir el flujo de agua por unidad de gradiente del potencial hidráulico, en el sistema de unidades de longitud, tiempo y masa. Es también el flujo de agua por unidad de gradiente de carga hidráulica cuando se usa el sistema de unidades de longitud, tiempo y peso. (Forsythe, 1985).

La Ley de Darcy dice que la velocidad de flujo del agua a través de una columna de suelo saturado, es directamente proporcional a la longitud de la columna. (Forsythe, 1985).

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Q: Gasto, descarga o caudal, en m<sup>3</sup>/s

k: Coeficiente de Permeabilidad de Darcy

i: Gradiente de alturas piezométricas o gradiente hidráulico.

A: Área de la sección transversal de la muestra, en m<sup>2</sup>.

	Materiales	Domenico	Smith & W	Freeze	Fetter	Sanders
<b>Sedimentos</b>	Grava	25 - 2500	100 - 10 <sup>5</sup>	100 - 10 <sup>5</sup>	10 - 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0.1 - 500	0.01 - 1000	1 - 1000	1 - 100	1 - 100
	Arena media	0.1 - 50				
	Arena fina	0.02 - 20			0.01 - 1	0.01 - 1
	Arena arcillosa			0.01 - 100	0.001 - 0.1	
	Silt, loess	10 <sup>-4</sup> - 2	10 <sup>-4</sup> - 1	10 <sup>-4</sup> - 1	0.001 - 0.1	10 <sup>-4</sup> - 1
	Arcilla	10 <sup>-5</sup> - 4x10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup> - 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup>
Arcilla marina inalterada	10 <sup>-7</sup> - 2x10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-11</sup> - 10 <sup>-7</sup>			
<b>Rocas sedimentarias</b>	Calizas karstificadas	0.1 - 2000	0.05 - 0.5	0.1 - 1000		0.1 - 10 <sup>7</sup>
	Calizas y dolomías	10 <sup>-4</sup> - 0.5	0.001 - 0.5	10 <sup>-4</sup> - 1		10 <sup>-4</sup> - 1
	Areniscas	3x10 <sup>-5</sup> - 0.5	10 <sup>-5</sup> - 1	10 <sup>-5</sup> - 1		
	Argilitas (Siltstone)	10 <sup>-6</sup> - 0.001				
	Pizarras sedimentarias (Shale) Intactas	10 <sup>-8</sup> - 2x10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-8</sup>		10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-8</sup>
	Pizarras sedimentarias (Shale) fracturadas y alteradas		10 <sup>-4</sup> - 1			
<b>Rocas cristalinas</b>	Basalto inalterado sin fractura		10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup>			10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup>
	Basalto fracturado vesicular (Cuaternario)		10 - 1000			0.1 - 10 <sup>6</sup>
	Escorias basálticas		0.001 - 1000			
	Basalto permeable	0.03 - 2000		0.02 - 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturas	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-5</sup>		10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-5</sup>
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0.001 - 25	10 <sup>-5</sup> - 1	0.0005 - 20		10 <sup>-5</sup> - 1
	Granito alterado	0.3 - 5				
Gabro alterado	0.05 - 0.3					

Tabla 028. Valores estimados de conductividad hidráulica (m/día). Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

Todas las conductividades hidráulicas de la tabla 028, están en metros/día. Los valores recogidos en la bibliografía aparecen en distintas unidades: cm/s, m/s ó m/día, de modo que fueron convertidos y redondeados.

### 5.3.5. FACTORES QUE AFECTAN LA POROSIDAD Y LA PERMEABILIDAD

Existe una serie de factores que afectan la porosidad de las rocas y los suelos. Por lo que la porosidad es de vital importancia en la exploración de aguas subterráneas. Es así que el origen y los cambios en la porosidad de areniscas son más simples de entender y de definir que las de otros tipos de roca. Sin embargo, aún en el caso de las areniscas hay varios factores que afectan su porosidad. Estos factores incluyen la naturaleza y las características de los granos de arena y otros sedimentos que se acumulan para que, con el tiempo se conviertan en una roca apta para el depósito de agua. El tamaño de las partículas de las areniscas no es determinante para la porosidad, pero la uniformidad y separación de los granos de arena tendrán un gran efecto en la porosidad. La uniformidad o buena separación intergranular de las arenas ocasionará a que la roca sea muy porosa. Los granos pequeños de limos o arcillas dentro de la arena son particularmente dañinos, pues estos rellenan los espacios vacíos o poros.

La génesis o etapa de formación de las rocas también tiene mucha influencia en la propiedad porosa de las rocas. Durante los procesos de sedimentación y acumulación de sedimentos en estratos, el peso de las partículas superiores (posteriormente de estratos rocosos) tiene una alta probabilidad de cambiar la acumulación y disposición de las arenas. Al principio, estos cambios son generalmente una pérdida de porosidad debido a la compactación y posteriormente, una pérdida adicional debido a la mineralización o cementación dada generalmente por sílice, carbonatos de calcio u otros minerales.

Otro factor importante en el análisis de la porosidad y la permeabilidad, principalmente la secundaria, es el estado en el que se encuentran las fracturas o fisuras; estas pueden estar cerradas o abiertas, con o sin mineralización, con o sin relleno de materiales finos como limos y arcillas, asimismo el espaciado entre ellas; estos factores deben ser evaluados minuciosamente durante un análisis puntual o cuando se haga un estudio detallado, especialmente para el análisis de la recarga artificial de acuíferos y/o exploración y explotación de los mismos.

### 5.3.6. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para la caracterización de los acuíferos se ha considerado las observaciones y pruebas de infiltración realizadas en campo, asimismo se ha considerado los datos de aforos realizados en estudios anteriores con el objetivo de tener una mejor clasificación hidrogeológica (Tabla 029).

Los valores de caudales de producción presentados en el presente informe y que están relacionados con los puntos de afloramiento sobre ciertas formaciones rocosas no implica que dicha formación sea el principal acuífero, sino que en muchos casos corresponden a acuíferos emplazados en las partes altas del terreno de interés, como es el caso del grupo Copacabana, el cual es un muy buen receptor, almacenador y transmisor de las aguas subterráneas, pero que no posee suficientes estructuras que faciliten el afloramiento de las aguas hacia la superficie.

**5.3.6.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “D”.** En el área de estudio las formaciones rocosas clasificadas como compactas, son las formaciones que se comportan prácticamente como substratos impermeables; correspondientes a las rocas ortogneísicas del plutón Abancay, las granodioritas, gabros, monzogranitos y cuarzodioritas del plutón Cotabambas Curahuasi, Lambra Marjune y Ocobamba Anchaca, respectivamente. Estas formaciones tienen limitada posibilidad para almacenar aguas subterráneas, en cambio favorecen una alta

escorrentía. La superficie de estas formaciones se calcula en 3 260.917 has, lo que representa un 7.594 % de la superficie total de la microcuenca Mariño; la velocidad de infiltración está en el orden de 1m/día o menos y su capacidad de almacenamiento (en fisuras) es de 0.01 %, por lo que su porosidad secundaria es muy baja.

**5.3.6.2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “A”.** En las rocas coherentes y porosas, vale decir aquellas que tienen porosidad primaria intergranular, producto de su proceso de litificación, y también su porosidad secundaria por fracturamiento y fisuramiento, se identifican a los acuíferos de la Unidad Hidrogeológica A; rocas que tienen la capacidad de almacenar aguas subterráneas y limitan la escorrentía superficial, siendo en el área de estudio los principales productores de aguas subterráneas, en las que se concentran la mayor cantidad de manantes y surgencias.

El área que ocupa dicha unidad es muy importante en la producción de agua, la misma que es corroborado por el caudal que alcanza 105.7 l/s, su permeabilidad alcanza valores entre 20-100 m/día, y tiene una muy buena capacidad de almacenamiento que varía entre 5 - 15 %.

**5.3.6.3. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “B”.** En las rocas porosas, de porosidad secundaria. Estas formaciones tienen la capacidad de almacenar aguas subterráneas y limitar la escorrentía superficial, siendo junto a los acuíferos de rocas coherentes porosas (Unidad Hidrogeológica A), los que producen más agua dentro del área de trabajo. La superficie de estas formaciones alcanza un aproximado de 9 654.247 has, equivalente a un 22.482 %, el mismo que implica un área considerable junto a las rocas de la Unidad Hidrogeológica A; ello también es corroborado por la producción de aguas subterráneas. Tienen muy buena capacidad de almacenamiento que fluctúa de 3 - 12 %.

**5.3.6.4. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “C”.** Se refiere a los depósitos cuaternarios sueltos y porosos, que afloran en una superficie aproximada de 11 869.380 has, equivalente a 27.641 %, cubriendo gran parte del área urbana de la ciudad de Abancay y las partes altas (Zonas morrénicas y fluvioglaciales) del área de trabajo. Estos depósitos tienen una limitada capacidad de almacenamiento, toda vez que son medios receptores y acuíferos de tránsito de las aguas provenientes del grupo de unidades hidrogeológicas A y B; su transmisividad es alta, sobre todo en los morrénicos y aluviales, siendo menores en los coluviales, debido fundamentalmente a contenidos importantes de matriz arcillosa, limosa y menor proporción arenosa; lo que limita la infiltración de las aguas de escorrentía y su percolación profunda hacia los acuíferos A y B, incrementándose en todo caso la escorrentía superficial y en consecuencia la evapotranspiración.

**5.3.6.5. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA “E”.** Es una unidad poco representativa debido a su escasa extensión de unos 421.148 has aproximadamente, equivalente a un 0.981 % del total del área de trabajo, es sin embargo en conjunto con la Unidad Hidrogeológica B, las formaciones más importantes respecto al almacenamiento de aguas subterráneas.

Esta unidad, básicamente hace referencia a los depósitos fluviales del Pachachaca y los depósitos fluvioaluviales del río Mariño, los que generalmente se encuentran saturados de aguas subterráneas debido al nivel freático. Estos depósitos son altamente porosos y permeables lo que facilita la acumulación topográfica de aguas subterráneas, y su libre transmisividad.

CLASIFICACIÓN HÍDRICA - HIDROGEOLÓGICA	UNIDAD GEOLÓGICA	LITOLOGÍA	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /día	PERMEABILIDAD m/día
Compacto - (D)	Ortogneis de Abancay (Zona norte y NE)	Dioritas cuarzosas	5 - 10	< -1
	Plutón Cotabambas-Curahuasi	Granodioritas y Gabros	5 - 10	< -1
	Plutón Lambrama-Marjune	Monzogranitos	5 - 10	< -1
	Plutón Ocobamba-Anchaca	Cuarzodioritas	5 - 10	< -1
Coherente y Poroso - (A)	Ortogneis de Abancay (Alfapata, San Gabriel, etc)	Dioritas cuarzosas y Ortogneis	≥ 500	< 10 > 100
	Grupo Mitu	Andesitas y rocas vulcanosedimentarias	≥ 500	5 - 22
	Fm. Murco	Areniscas cuarzosas, feldespáticas y conglomerados	500 a varios miles	10 - 26
	Fm. Ausangate	Areniscas y limolitas	≥ 500	10 - 26
	Volcánico Sañayca	Andesitas y Microconglomerados	≥ 500	15 - 40
Poroso (Porosidad Secundaria) - (B)	Grupo Copacabana	Calizas	500 a varios miles	< 10 > 100
	Fm. Arcurquina	Calizas	500 a varios miles	< 10 > 100
	Fm. Hualhuani	Areniscas de grano fino a medio, limolitas, arcillitas, limoarenitas, lutitas negras y areniscas cuarzosas a feldespáticas con algunos niveles de calizas	≥ 500	10 - 35
	Fm. Gramadal			
	Fm. Socosani			
	Fm. Puente			
	Fm. Labra			
Fm. Murco				
Suelto y Poroso - (C)	Depósitos aluviales	Cantos y arena	Varios miles	12 - 25
	Depósitos coluviales	Bloques en matriz arenosa y arcillosa	100 - 200	3 - 15
	Depósitos coluvioaluviales	Cantos y arena en matriz limosa	100 a varios miles	5 - 20
	Depósitos morrénicos	Bloques en matriz arcósica y arcillosa	Varios miles	2 - 17
	Depósitos fluvioglaciales		100 - 200	3 - 20
Suelto y Poroso - (E)	Depósitos fluvioaluviales		500 a varios miles	Elevado
	Depósitos fluviales		Muy elevada	Muy elevado

Tabla 029. Características hidráulicas de las unidades geológicas del área de Estudio. Fuente: Gestión integral de la Microcuenca Mariño, 2010.

### 5.3.7. CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE LOS ACUÍFEROS

La calidad de las aguas subterránea depende mucho de las condiciones del acuífero o unidades litológicas por las que atraviesa, la velocidad de circulación, reacciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de sustancias transportadas por el agua.

Los criterios usuales para dictaminar acerca de la potabilidad de un agua son el químico y el bacteriológico. Así, se puede afirmar la potabilidad química, cuando las concentraciones de sus elementos satisfagan las condiciones fijadas para ello y la potabilidad bacteriológica cuando, estando el agua exenta de bacterias patógenas, los resultados de los diversos análisis sean satisfactorios.

Las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas son muy numerosas, entre las principales describiremos el de conductividad eléctrica y el análisis químico.

Para la caracterización hidroquímica de las unidades hidrogeológicas del área de estudio, se ha zonificado los puntos de muestreo y análisis en función de la clasificación hidrogeológica en la que aflora, sin que esto signifique que es éste el acuífero que lo produce; en este entender podemos mencionar que las aguas pueden provenir de acuíferos ubicados en niveles superiores.

Se ha contado con 158 puntos de muestreo y análisis que han sido proporcionadas por el proyecto “Gestión Integral de la Microcuenca Mariño”, las mismas que arrojan el siguiente resultado.

CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	UNIDAD GEOLÓGICA	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{m}/\text{h}$ )	T° (°C)	SÓLIDOS DISUELTOS	DUREZA TOTAL	CLASE DE AGUA
Unidad D	Intrusivos y Ortogneis (Zona N y NE)	44 - 288	4 - 7	40 - 210	30 - 180	Blanda
Unidad A	Ortogneis (Alfapata, San Gabriel, etc), Grupo Mitu, Fm. Ausangate, Fm. Murco y Volcánico Sañayca	40 - 800	9 - 21	40 - 1400	20 - 1500	Muy Blanda a Muy Dura
Unidad B	Grupo Copacabana, Fm. Arcurquina y Grupo Yura	30 - 883	9.5 - 12.5	25 - 4700	20 - 500	Muy Blanda a Dura
Unidad C	Depósitos aluviales, coluviales, morrénicos, fluvio-glaciales y coluvialuviales	90 - 3050	10 - 21	44 - 2400	38 - 2100	Muy Blanda a Muy Dura

Tabla 030. Características hidroquímicas de los acuíferos del estudio. Fuente: Gestión integral de la microcuenca Mariño, 2010.

La calidad de las aguas mencionadas en la tabla anterior representa una compilación de todos los valores obtenidos en los puntos de muestreo, los que pueden o no estar relacionados a los acuíferos o formaciones hidrogeológicas donde fueron muestreados.

Por otro lado podemos notar que los rangos de variación son muy altos, especialmente en las unidades hidrogeológicas del tipo “C”, esto se explica por el tipo de emplazamiento que tiene dicha unidad, ya que se encuentra en la parte baja del área de estudio y viene a ser una de las últimas formaciones hidrogeológicas por donde se desplazan las aguas subterráneas provenientes de los niveles superiores, donde existe abundante material calcáreo.

La calidad de las aguas obtenidas en los análisis fisicoquímicos demuestran, en la mayoría de los casos, que se tratan de aguas aptas para el consumo humano y agropecuario, sólo una pequeña porción (menor al 4 %) representa a aguas con alta conductividad eléctrica y dureza total.

Haciendo estudios detallados de calidad, es posible establecer zonas estratégicas para la regulación de acuíferos o explotación controlada a través de sondeos horizontales y sistemas de regulación dentro de estos, por medio de válvulas, de modo que podríamos aprovechar la época de lluvias para almacenar volúmenes de agua importantes para su posterior uso en los períodos de estiaje o mayor demanda por parte de los productores y población Abanquina.

### 5.3.8. FLUJOS SUBTERRÁNEOS

Las aguas subterráneas procedentes de la infiltración de las aguas meteóricas o de los deshielos; aguas de riego; se infiltran en el suelo para almacenarse en los poros de los suelos y rocas, perdiéndose en niveles inferiores u originando la elevación del nivel freático.

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cavernas y galerías especialmente en rocas calcáreas. En algunos lugares regresan a la superficie brotando en forma de fuentes o manantiales. Los flujos subterráneos se manifiestan en superficie, dando lugar a zonas húmedas naturales y manantiales.

El flujo de las aguas subterráneas, en la mayoría de los casos, se encuentra regida por la fuerza de gravedad, donde la dirección de los flujos está controlada por la estructura o morfología de los acuíferos; gran parte de las aguas subterráneas pasan de un acuífero a otro, ubicado en un nivel inferior, para finalmente llegar hacia el fondo de los valles o el mismo mar.

En nuestro área de trabajo se puede apreciar, que existe una predominancia de acuíferos con abundante porosidad primaria y secundaria, factor que facilita el flujo de las aguas subterráneas hacia el fondo del valle sin que estas puedan ser aprovechadas actualmente.

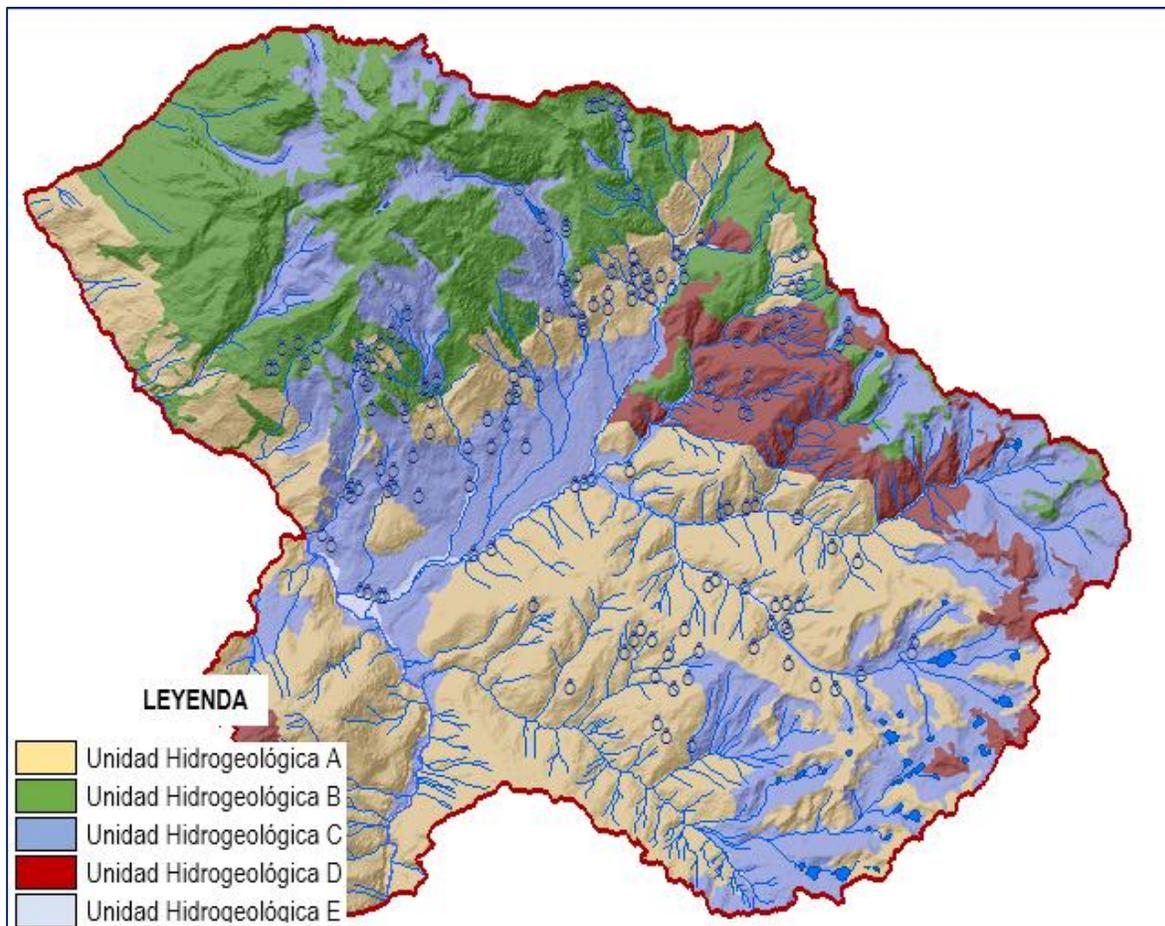


Gráfico 028. Clasificación de unidades hidrogeológicas, en puntos azules, se muestran los manantes. Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.4. PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS

El conocimiento de los peligros hidrometeorológicos es muy importante para nuestro área de trabajo, debido a la configuración topográfica que presenta la ciudad de Abancay y la pendiente sobre la que

se erige gran parte de la misma, convierte a la ciudad de Abancay en una zona altamente vulnerable frente a los eventos hidrometeorológicos, como son las inundaciones y/o desbordes de los ríos en las calles de la ciudad.

#### 5.4.1. INUNDACIONES

Las inundaciones son ocupaciones por parte del agua, de zonas o regiones que habitualmente están libres de esta, ya sea por desbordamiento de ríos, torrentes, lluvias extraordinarias, entre otros. Las inundaciones fluviales son eventos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, los mismos que reciben la denominación geomorfológica de “llanuras de inundación”, áreas que tradicionalmente son aprovechados para la agricultura. Normalmente las inundaciones son consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad superior a la que puede drenar el propio cauce del río.

En la ciudad de Abancay, la ocurrencia de inundaciones se centra en el desborde de los ríos y quebradas, que en períodos de precipitación, aumentan su caudal de manera considerable que sumado a lo reducido de las secciones de los cauces a causa de la invasión urbana, tienden a desbordarse y convertirse en torrentes al invadir las avenidas contiguas a las quebradas y ríos. Además de las obras civiles de encausamiento de quebradas y las precipitaciones intensas en períodos lluviosos, la ciudad de Abancay, presenta el factor topográfico (pendiente) determinante para que se produzcan los torrentes a causa, exclusivamente de las precipitaciones pluviales, averiando así incluso los sistemas de alcantarillado y drenaje de la ciudad.

Entonces, las inundaciones pueden darse:

- Por desbordamiento de ríos y quebradas (microcuenca Mariño), como consecuencia de un aumento de caudal debido a las precipitaciones. Son importantes el tipo y la distribución de la lluvia, intensidad, orografía, vegetación, tipo de suelo de la cuenca, incluida las obras hidráulicas sobre el mismo (embalses y canalizaciones). También influyen las condiciones de humedad del terreno, que usualmente dependen de que haya llovido o no los días anteriores.
- Por inundaciones “In situ”, es decir la acumulación de agua por una intensa precipitación. En este caso es muy importante el estado de la red de drenaje y de presencia de infraestructuras susceptibles a ser inundadas.
- No meteorológicas, como por el deshielo del Nevado del Ampay.
- Mal funcionamiento de infraestructuras hidráulicas como los embalses o redes de drenaje.
- Edificaciones urbanísticas cerca de los ríos o en las fajas marginales o en las zonas antiguas de curso de los ríos.

#### 5.4.2. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS URBANAS CON ALTO RIEGO DE INUNDACIÓN

De acuerdo al estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad de Abancay, en su capítulo de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos; desarrollado por el Instituto Nacional de Defensa Civil en convenio con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, mediante el Programa de Ciudades Sostenibles, se determinaron áreas con un alto riesgo frente a eventos Hidrometeorológicos (Tabla 031) “Peligros Climáticos”, en el cual se detalla localmente los lugares, sectores, avenidas y/o calles, que son propensas a sufrir inundaciones, basado en las diversas encuestas realizados a los pobladores de la ciudad de Abancay.

N°	CENTRO URBANO	RÍOS / CUENCA	TIPO DE RIESGO
01	Urb. Víctor Acosta Ríos	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
02	Urb. Juan Pablo II	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
03	Tamburco	Ccolcaqui y Sahuanay	Inundación por Precipitación Extraordinaria
04	APV Daniel Alcides Carrión	Marcahuasi	Inundación por Precipitación Extraordinaria
05	Aymas Baja y Aymas Alta	Hatumpata	Inundación por Río Hatumpata
06	Urb. Hiroito	Marcahuasi y Ccolcaqui	Inundación por los Ríos Marcahuasi y Ccolcaqui
07	Urb. Santa Isabel	Marcahuasi y Ccolcaqui	Inundación por los Ríos Marcahuasi y Ccolcaqui
08	Urb. Santa Martha	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
09	Urb. Santa Rosa	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
10	APV Maucacalle	Ullpahuaycco	Inundación por Precipitación Extraordinaria
11	León Pampa	Ullpahuaycco	Inundación por Precipitación Extraordinaria
12	Urb. Los Amancaes	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
13	Puca Puca	Ullpahuaycco	Inundación por Precipitación Extraordinaria
14	Urb. Virgen del Rosario	Ullpahuaycco	Inundación por Precipitación Extraordinaria
15	Av. Los Amancaes	Ullpahuaycco	Inundación por Precipitación Extraordinaria
16	Urb. La Granja	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
17	Urb. Ampay	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
18	Urb. San José I Etapa	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
19	Urb. San José II Etapa	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
20	Barrio Policial	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
21	Av. Perú	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
22	Av. Brasil	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
23	Av. Chile	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
24	Av. Venezuela	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
25	Las Américas	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
26	Urb. Santa Sebastiana	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
27	Urb. Miraflores	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
28	Urb. Fonavi	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
29	Urb. Señor de los Milagros	Ullpahuaycco / Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
30	Sector Trujipata	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
31	San Luis Alta	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
32	San Luis Baja	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
33	Bellavista Alta	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
34	Bellavista Baja	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
35	Urb. Isidro Salas	San Luis	Inundación por Precipitación Extraordinaria
36	Urb. San Francisco	San Luis	Inundación por Quebrada San Luis
37	Av. Prado Alto	Ullpahuaycco, Ccolcaqui y Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
38	Calle Victoria	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
39	Jr. Apurímac	Ullpahuaycco, Ccolcaqui y Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
40	Av. Garcilaso Vega	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
41	Av. Elías	Ullpahuaycco, Ccolcaqui y Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
42	Av. Arenas	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
43	Av. Arequipa	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
44	Av. Estudiantil	Ccolcaqui	Inundación por Precipitación Extraordinaria
45	Jr. Lima	Mariño	Inundación por Precipitación Extraordinaria
46	Av. Juan Pablo Castro	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
47	Plaza de Armas	Mariño	Inundación por Precipitación Extraordinaria
48	Patibamba Alta	Mariño	Inundación por Precipitación Extraordinaria
49	Patibamba Baja	Mariño	Inundación por Precipitación Extraordinaria
50	Urb. José Carlos Mariátegui	Sahuanay - Chinchichaca	Inundación por Precipitación Extraordinaria
51	Av. Seoane	Ullpahuaycco y Chinchichaca	Inundación por ríos Chinchichaca y Ullpahuaycco
52	Barrio Mariño	Mariño	Inundación por Precipitación Extraordinaria

Tabla 031: Zonas urbanas con alto riesgo frente a inundaciones. Fuente: Ciudades Sostenibles - PNUD, INDECI, 2007.

De acuerdo a la tabla 031, donde se enumeran los centros urbanos propensos a sufrir inundaciones, en el presente desarrollamos las quebradas más críticas.

#### 5.4.2.1. CAUCE DE LA QUEBRADA FONAVI

Se refiere al cauce, que surcaba por la Urb. Fonavi; sin embargo, el cauce en mención al día de hoy está invadida y limitada por la ocupación urbana, por lo que en determinados puntos por donde fluye las aguas de la quebrada Fonavi ya no se percibe el cauce, sino solamente zonas pantanosas o áreas con constante depósitos de agua que fluyen a los niveles inferiores de la quebrada (Foto 070). En la parte superior de la Urb. Fonavi existen construcciones tales como cercos perimétricos, viviendas y terrenos de cultivo contruidos transversalmente al cauce antiguo, los mismos que han cerrado el curso de los flujos de agua que se generan en la parte superior, lo que ha ocasionado que dichos flujos se infiltren en dichos puntos sin llegar a fluir libremente por su paleocauce. Sin embargo en la parte inferior de la Urb. Fonavi, se ha tratado de recuperar el cauce de la quebrada, construyendo un canal bastante estrecho (Foto 071) para el normal flujo hídrico que aún llega hasta dicha zona.



Foto 070 (Izquierda): Cauce obstruido de la quebrada Fonavi en el sector de Casa Blanca. Foto 071 (Derecha): Puente y cauce estrecho de la quebrada Fonavi a causa de la ocupación urbana en el sector de la Av. Santo Domingo, Urb. Fonavi.

#### 5.4.2.2. QUEBRADA ULLPAHUAYCCO

Es uno de los sectores más críticos de la ciudad de Abancay junto a la quebrada Fonavi. En esta avenida, es en donde confluyen los ríos Ullpahuaycco y Sahuanay-Chinchichaca. El problema crítico es generado a partir del ensanchamiento existente del río Ullpahuaycco, sin embargo, este presenta una canalización que a medida que desciende de altitud por la ciudad de Abancay se reduce en su sección (Foto 072); incluso en la zona de encuentro con la Av. Seoane, el canal de drenaje es bastante reducida.

#### 5.4.2.3. URBANIZACIÓN SANTA ISABEL

Es el lugar donde confluyen los ríos Ccolcaqui y Hatumpata. Esta zona no cuenta con trabajo hidráulico alguno o infraestructura civil para prevenir el desborde de los ríos, mas en su defecto se han venido construyendo viviendas, invadiendo las fajas marginales de los ríos.

#### 5.4.2.4. URBANIZACIÓN AYMAS BAJA

En esta zona confluyen los ríos Hatumpata y Marcahuasi (Foto 073). Al igual que en la Urb. Santa Isabel, este sector tampoco cuenta con trabajos civiles para encauzar los ríos, sino que también la población vienen realizando invasiones hacia las fajas marginales de los ríos.



Foto 072 (Izquierda): Cauce de la quebrada Ullpahuaycco, en la intersección del Jr. Costa Rica con la Av. Perú. Foto 073 (Derecha): Cauce del río Marcahuasi, obstruido por la vegetación y totalmente contaminado por los residuos sólidos, en el sector de Santa Isabel - Aymas.

#### 5.4.2.5. SECTOR ÑACCHERO

Debido a la basta ocupación urbana en el sector, donde las viviendas se establecen en pleno cauce de la quebrada Ñacchero (Foto 075), la zona es altamente vulnerable ante una crecida extraordinaria del río, ya que además en la parte superior de la quebrada, a la altura de la vía de evitamiento, el cauce y la faja marginal viene siendo utilizados como botadero de desmontes y residuos sólidos (Foto 074); los cuales ante un período extraordinario de precipitación aumentarían el grado de peligrosidad, ocasionando probablemente un flujo de barro con un alto poder destructivo.



Foto 074 (Izquierda): Cauce de la quebrada Ñacchero, por la vía de evitamiento. Foto 075 (Derecha): Cauce reducido de la quebrada Ñacchero, a causa de la urbanización en la quebrada, en el sector de Ñacchero.

#### 5.4.2.6. SECTOR VERONICAYOC

La quebrada Veronicayoc, históricamente representa un gran peligro para las áreas contiguas al cauce, ya sea debido al tipo de material limoarcilloso por donde fluyen sus aguas o a la estrechez del cauce. El sector más crítico es donde atraviesa a la Carretera Abancay-Cusco, (Foto 076) donde el cauce es bastante reducido en su sección y presenta basta cobertura vegetal que obstruye el normal flujo de las aguas.

### 5.4.2.7. SECTOR MARCAHUASI

El sector de Marcahuasi, en esta última década ha venido poblándose considerablemente, en especial, con casas de campo (Foto 077), restaurantes campestres, áreas agrícolas, áreas para la crianza de truchas, etc. Sin embargo, dicho poblamiento se viene desarrollando más hacia los cauces del río, el cual no tiene defensa ribereña o alguna infraestructura civil para el control hídrico, por lo que un desborde de dicho río es bastante probable.



Foto 076 (Izquierda): Cauce de la quebrada Veronicayoc, en la vía Abancay-Cusco. Foto 077 (Derecha): Cauce reducido de la quebrada Marcahuasi, y como se puede observar, la viviendas se establecen en plena faja marginal, en el sector de Marcahuasi.

Habiéndose identificado las cuencas, ríos y canales que presentan alto riesgo de inundación en su curso en toda la ocupación urbana de la ciudad de Abancay, se han identificado también la incidencia que tienen estos al drenar por el interior de la ciudad, por lo que el grado de riesgo que presentan dichas zonas, se debe básicamente a los problemas que presenta la ciudad para drenar las aguas pluviales, las mismas que se deben a que:

- Gran parte de la ciudad de Abancay no cuenta con sistema de drenaje pluvial.
- Al generarse las precipitaciones, los flujos de agua que se crean son evacuados por las calles, siendo uno de los aspectos favorables en la mayoría de ellas las fuertes pendientes que existen.
- Se observa que al presentarse precipitaciones pluviales se incrementan considerablemente los caudales de los ríos y quebradas, desbordándose en muchos casos de sus cauces, y también se generan acumulaciones de aguas pluviales en las calles de la ciudad, que aprovechando las pendientes originan torrentes, que llegan a afectar las partes bajas y medias de la ciudad.
- En toda la ciudad, las aguas pluviales fluyen por la calles; sin embargo aproximadamente el cincuenta por ciento de dichas calles se han diseñado paralelamente a las curvas topográficas es decir transversalmente a los cauces que atraviesan la ciudad, sin llegar a drenar sus aguas directamente a dichos cauces, por lo que en estas calles se genera una alta concentración de volúmenes de aguas, que no son evacuadas directamente a las quebradas, por lo que se generan inundaciones parciales y torrentes en determinados puntos de la ciudad.





## CAPÍTULO VI GEODINÁMICA

### 6.1. GEODINÁMICA INTERNA

La geodinámica interna, que estudia los fenómenos que tienen lugar en el interior de la corteza terrestre y los resultados que de ellos se derivan (orogenias, vulcanismo y terremotos), está representada por la actividad sísmica de la región y el grado de incidencia de dichos sismos a nivel del área de estudio, por lo que la actividad sísmica está íntimamente ligada al proceso tectónico.

A nivel regional, la actividad sísmica está relacionada a un dominio de fallas activas, representadas por el sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos, la que atraviesa por el norte de la ciudad de Abancay, con una dirección predominante E-O, dislocando el plegamiento herciniano en un “horst”, habiendo formado un alto estructural impresionante en las alturas del Nevado del Ampay, ya que además las rocas del nevado son las más antiguas de la región y/o nuestra zona de estudio.

**6.1.1. SISMOLOGÍA.** Aunque los sismos y terremotos son fenómenos complejos, los avances en la sismología están permitiendo un buen entendimiento de la mecánica y las proporciones de ocurrencia de los sismos en el mundo. Quizá entre sus valiosos descubrimientos sismológicos está la tectónica de placas.

**6.1.1.1. MEDIDA DE LOS SISMOS.** Los sismos y/o terremotos pueden ser medidos cuantitativamente en función de la cantidad de energía liberada y cualitativamente según el grado de destrucción que ellos causan.

a) **INTENSIDAD SÍSMICA.** La intensidad es una medida de los efectos causados por un sismo en un lugar determinado de la superficie terrestre, o el efecto violento con que se siente un sismo en la zona afectada. La medición de la intensidad es cualitativa y se realiza observando los efectos o daños producidos por el sismo en las construcciones, objetos, terreno, y el impacto que provoca en las personas. Para medir la intensidad se emplea la escala de Intensidades Modificada de Mercalli (Tabla 032), la cual es una escala descriptiva de 12 grados. Existe también la escala MSK, elaborada por los sismólogos europeos, Medvedev, Sponhever y Karnik. Esta escala precisa mejor los efectos de un sismo en las construcciones.

La escala de Intensidades Modificada de Mercalli no se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente; por lo que la intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto y dependerá de:

- La energía del terremoto.
- La distancia de la falla donde se produjo el terremoto.
- La forma como las ondas llegan al sitio en donde se registra el terremoto.
- Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la intensidad, ya sean rocas o suelos.
- Cómo sintió la población o dejó registros el terremoto, centrándose básicamente en el estado en las que se encuentran las infraestructuras civiles después del terremoto.

GRADO		DESCRIPCIÓN
Grado I	Muy Débil	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Débil	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Leve	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.
Grado IV	Moderado	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Poco Fuerte	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etc., se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos, se detienen los relojes de péndulo.
Grado VI	Fuerte	Sacudida sentida por todo el mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o daños en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Muy Fuerte	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Destruyivo	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel de agua de los pozos. Pérdida de control en los conductores de vehículos.
Grado IX	Muy Destruyivo	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Desastroso	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Muy Desastroso	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terrenos suaves. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Catastrófico	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (Ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Tabla 032: Intensidades sísmicas en Escala Mercalli. Fuente: <http://www.volcaneshistoricos.com/escala-mercalli/>.

b) **MAGNITUD SÍSMICA.** Es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo. Para una valoración objetiva de la magnitud de los terremotos, es necesario utilizar instrumentos adecuados como los sismógrafos y acelerógrafos. Cualquiera sea la ubicación de estos instrumentos con respecto al lugar del sismo, el valor de la magnitud es aproximadamente el mismo. Sin embargo, un terremoto con una sola magnitud puede tener muchas intensidades que irán disminuyendo a medida que se alejen del epicentro sísmico.

La magnitud, se mide en la Escala Richter (Tabla 033), la cual crece en forma ponencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento diez veces mayor o más de la magnitud de las ondas. Por lo que una magnitud 4 no es el doble de 2, sino 100 veces mayor. Entonces, la magnitud, por ser una medida objetiva y absoluta de la energía producida en el foco de un terremoto; se calcula en función de la amplitud y de la frecuencia de las ondas sísmicas registradas en los sismogramas.

Magnitud en Escala Richter	Efectos del Terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños muy severos en áreas muy pobladas
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 ó Mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Tabla 033: Magnitudes sísmicas en Escala Richter. Fuente: <http://www.radioemergencia.cl/escala-richter/>.

**6.1.1.2. PELIGRO SÍSMICO.** Para cuantificar los efectos de los sismos en las obras civiles es necesario tomar en cuenta la vulnerabilidad de las obras civiles y la sismicidad del lugar. La vulnerabilidad de las obras civiles se estima al conocer las características de las edificaciones y la sismicidad es obtenida mediante un análisis de peligro o amenaza sísmica. Por lo que el peligro se puede representar por medio de los valores máximos del movimiento del terreno, la intensidad del movimiento y muy recientemente por un parámetro global de la respuesta estructural. Existen dos enfoques para representar el peligro sísmico (Gráfico 030): El enfoque determinístico y el enfoque probabilístico. El enfoque determinístico cuantifica el peligro considerando el sismo más destructivo que pueda ocurrir en el sitio, teniendo en cuenta la historia sísmica local. El enfoque probabilístico en cambio cuantifica el peligro considerando todos los posibles sismos que puedan ocurrir en el sitio, asociados a un valor de probabilidad.

Cualquier obra civil se proyecta y se construye considerando un cierto período de vida útil. Mientras mayor sea este tiempo, mayor será la exposición que tengan las obras a los terremotos. Generalmente el período de vida útil de las obras es mucho menor al tiempo de recurrencia de los grandes terremotos. El enfoque determinístico expresa el peligro en términos absolutos del mayor evento; por tanto no resulta apropiado para tomar decisiones en cuanto al nivel de exposición aceptable en función de la vida útil de una obra. El enfoque probabilístico en cambio considera la posibilidad de ocurrencia de los terremotos en el tiempo de vida útil y se presenta como una mejor herramienta para la toma de decisiones.

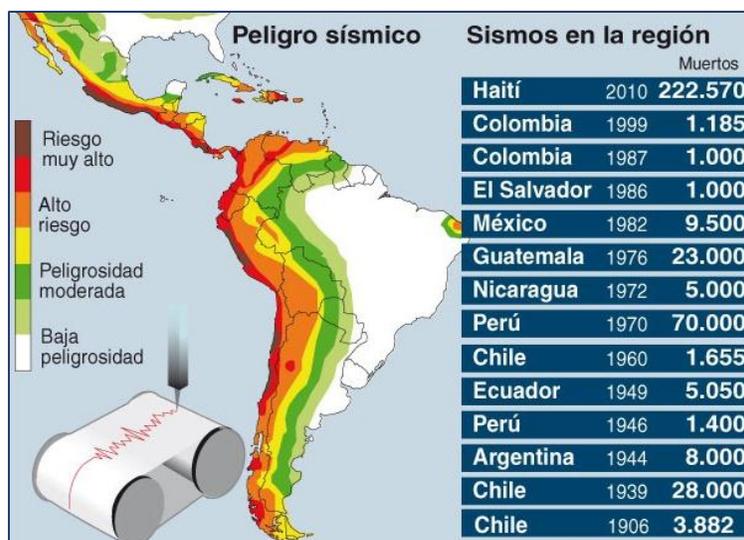


Gráfico 029: Mapa de riesgo sísmico en América Latina y el Caribe; terremotos representativos y la cantidad de víctimas mortales en los países con mayor ocurrencia de sismos. Fuente: USGS.

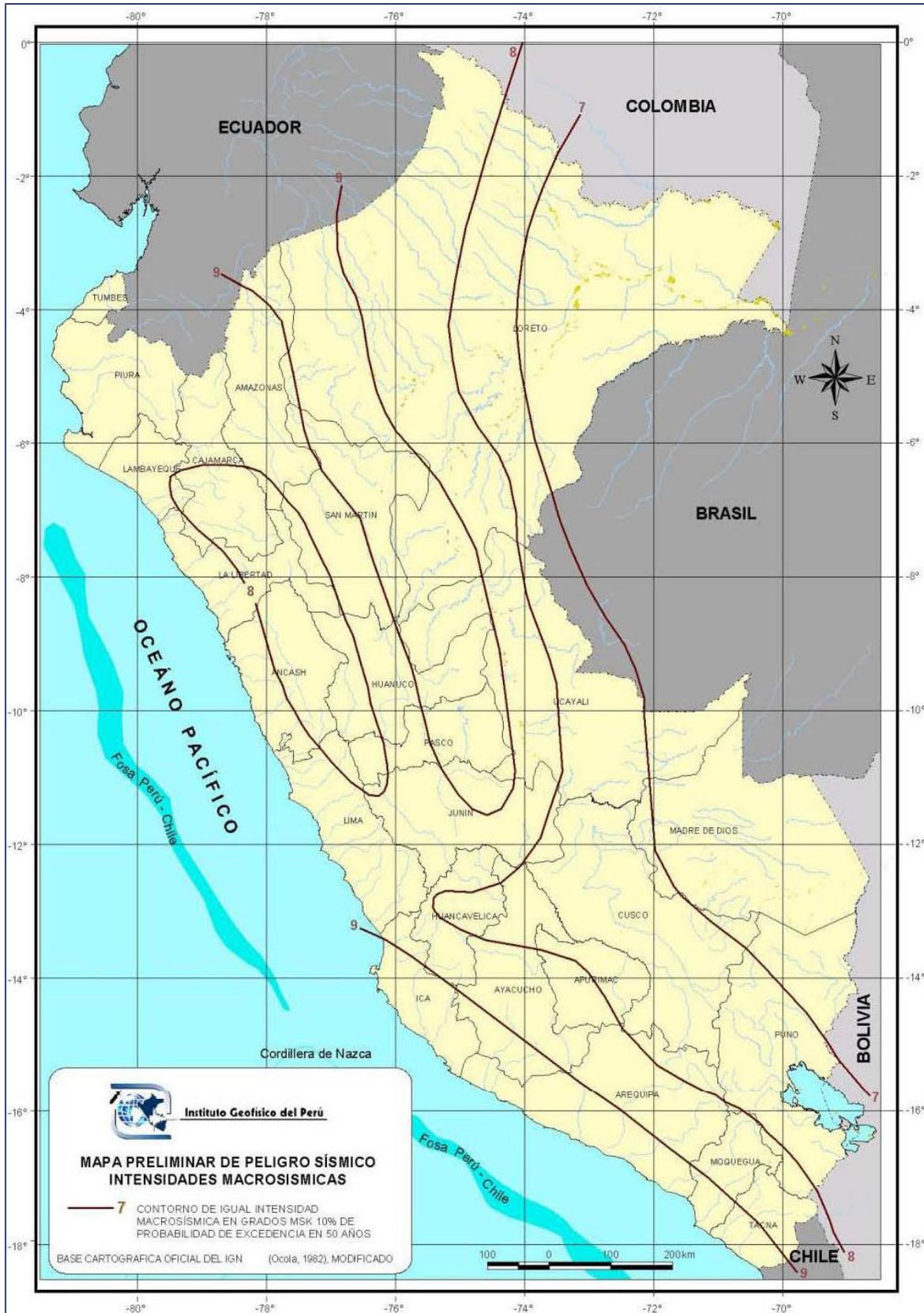


Gráfico 030: Mapa preliminar de Peligro Sísmico del país, de acuerdo a las intensidades macrosísmicas. Fuente: IGP.



- La zona de subducción de interfase poco profunda.
- La zona de subducción de intraplaca profunda.
- La zona de corteza continental de la Placa Sudamericana.

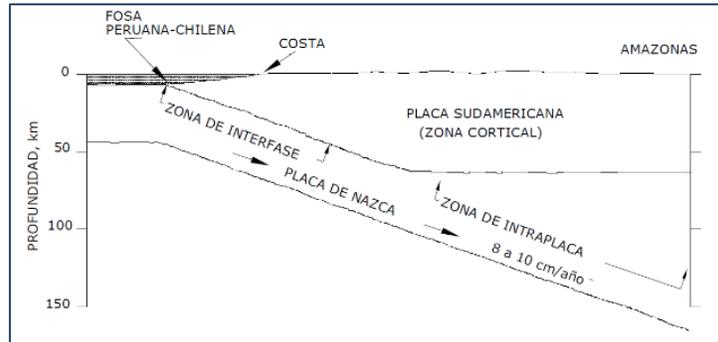


Gráfico 033: Sección transversal del proceso tectónico en la zona de subducción (Bartola 2001). Fuente: IGP.

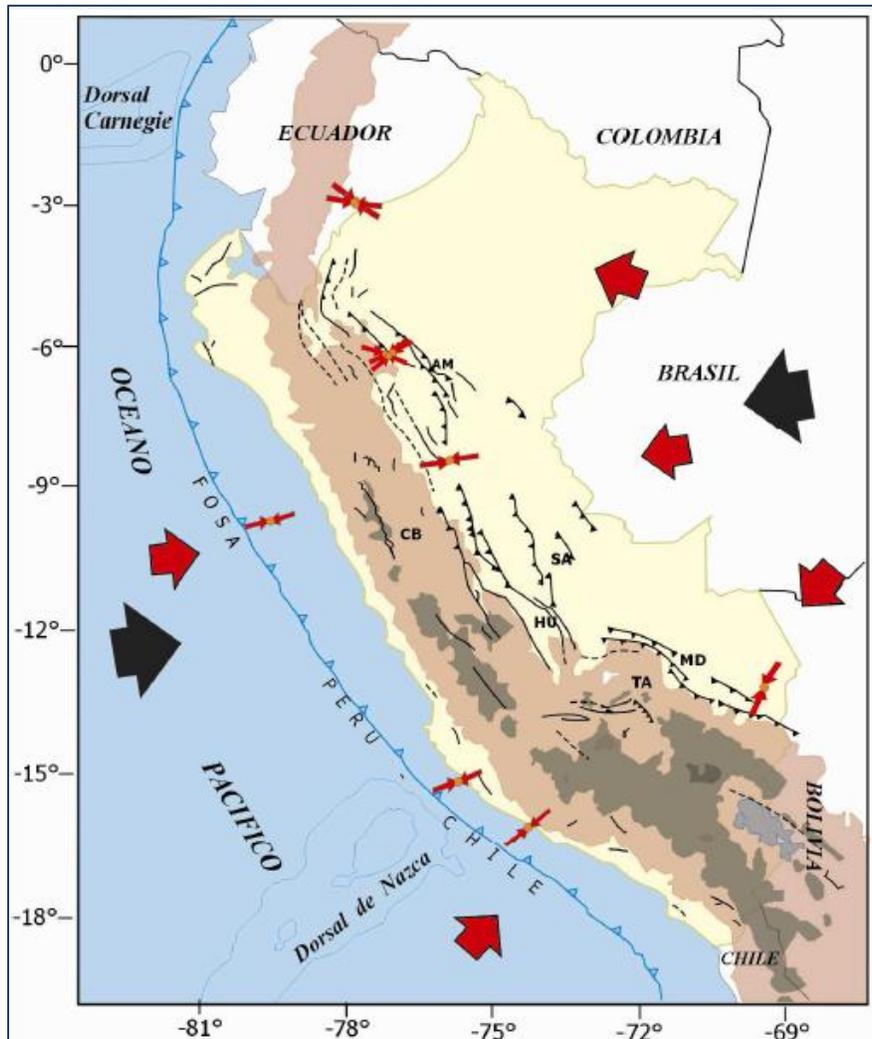


Gráfico 034: Esquema sismotectónico en superficie del Perú, obtenido a partir de los esfuerzos regionales por Tavera y Buforn (1998). Las flechas pequeñas corresponden a la proyección de los ejes de presión obtenidos a partir de mecanismos focales; las flechas grandes, la dirección del esfuerzo regional, y las flechas en negro, la dirección de la convergencia de placas. Fuente: IGP.

- a) **ZONA DE SUBDUCCIÓN DE INTERFACE POCO PROFUNDA.** Está caracterizada por el acoplamiento de las placas Nazca y Sudamericana, y posee mecanismos que obedecen a procesos compresivos. La mayor parte de los sismos a nivel mundial ocurren en esta zona y se presentan entre los 40 y 50 km de profundidad aproximadamente, con magnitudes inclusive de 9.0 (Heaton y Kanamori, 1984). Los sismos que se producen en este intervalo de profundidad también son conocidos como “Sismos superficiales”, los que a su vez se convierten en los terremotos más destructivos.
- b) **ZONA DE SUBDUCCIÓN DE INTRAPLACA.** Está caracterizada por eventos tensionales que ocurren en la zona descendente de la placa de Nazca, donde los sismos son por fallas normales, con magnitudes hasta de 8.0.
- c) **ZONA DE CORTEZA CONTINENTAL DE LA PLACA SUDAMERICANA.** Está sujeta a esfuerzos tectónicos compresionales debido a su convergencia con la placa de Nazca. Esto ha dado como resultado el arrugamiento y levantamiento del margen continental durante un proceso orogénico muy complejo, cuyo resultado final fue la formación de la Cordillera de los Andes (Gráfico 035). La zona de corteza está caracterizada por eventos moderados, con fallas con ángulos de buzamiento pequeños y con magnitudes entre 6.0 y 7.5; presentados a lo largo de los márgenes occidental y oriental de la Cordillera de los Andes.

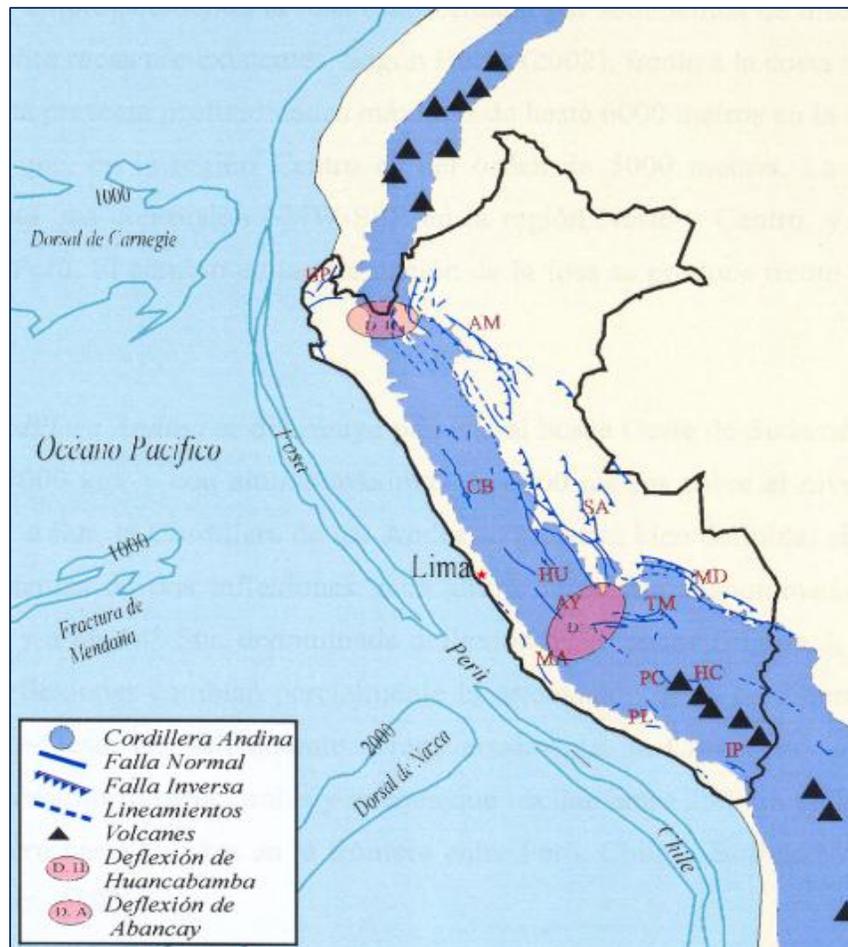


Gráfico 035: Principales rasgos tectónicos en el Perú (Bernal y Tavera 2002).

El continuo interaccionar entre las placas de Nazca y Sudamericana han dado origen a distintos rasgos tectónicos (Gráfico 035), como:

- La Dorsal de Nazca.
- La Fosa Peruano-Chilena.
- La Cordillera Andina.
- La Cadena Volcánica.
- Las diferentes Fallas en el continente.

**6.1.3. SISMICIDAD HISTÓRICA.** La sismicidad histórica en el Perú empieza con la invasión y la colonización de los españoles y depende fundamentalmente de la concentración de la población, ya que fueron transmitidas dichos eventos de forma oral a sus generaciones futuras.

Silgado (1968, 1978, 1985) fue uno de los pioneros en este trabajo y realizó una de las más importantes aportaciones, la historia sísmica del Perú. Otros investigadores como Dorbath et al. 1990, analizaron los grandes sismos históricos del Perú y obtuvieron estimaciones de parámetros como la longitud de ruptura y la magnitud de momento, y caracterizaron la actividad sísmica en el norte, centro y sur del país.

Alva et al. 1984; confeccionó un mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú, en el que se representan los niveles de daños producidos por los terremotos peruanos. El mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. La historia sísmica peruana ha sido evaluada por Dorbath en las regiones norte, central y sur. Para el presente estudio y debido a su ubicación se toma la parte sur del país respecto al análisis de la sísmica histórica.

A lo largo de su historia, la región sur, ha experimentado 4 grandes sismos. El primer gran evento, ocurrió durante 1604, con una longitud de ruptura de 450 km y un tsunami de 10 a 15 m. El segundo gran sismo ocurrió durante 1687, probablemente de 150 km de longitud de ruptura. El tercer gran sismo en el sur, ocurrió en 1784, con una longitud de ruptura de 300 km y un tsunami local de 2 a 4 m. El cuarto gran sismo ocurrió en 1868 con una longitud de ruptura de 450 a 500 km y un tsunami local de 14 m de altura.

#### **6.1.3.1. SISMICIDAD EN LA REGIÓN APURÍMAC**

Debido a la ubicación del presente trabajo, para la sismicidad histórica se tomó como área referencial, la zona sur del Perú, ya que además, ésta, representa un modelo de sismicidad diferente respecto a la zona norte y centro del país, debido a su simplicidad y regularidad de ocurrencia de eventos sísmicos. El primer evento sísmico documentado del Perú ocurre en 1582, con una longitud de ruptura probable de 80 km y sin evidencias de tsunamis.

La región sur del Perú posee zonas de ruptura mejor definidas, por lo que se ha podido establecer que el tiempo de recurrencia de grandes sismos es de aproximadamente un siglo. En la tabla 034, se detallan de manera referencial, los sismos históricos más significativos en la región de Apurímac (Gráfico 036), sin embargo, la tabla no especifica a detalle los epicentros, sino sólo las provincias donde ocurrieron los sismos. Las intensidades en dicha tabla están a nivel de la Escala de Mercalli Modificada.



LUGAR	FECHA	HORA	INTENSIDAD
Huancarama	1847	-	-
Abancay	04/01/1876	-	IX
Aymaraes	04/11/1913	16:33	VI
Abancay	05/01/1925	-	VI
Aymaraes	01/07/1964	22:49	V
Aymaraes	19/12/1965	20:10	V
Chuquibambilla	12/06/1969	14:12	VI
Aymaraes (Colca y Cotaruse)	16/06/1994	17:20	IV
Cusco	18/09/1941	08:15	VI – VII
Cusco	21/05/1950	13:38	VI

Tabla 034: Sismos históricos en la región de Apurímac. Fuente: Elaboración Propia.

Además de la tabla anterior, se tienen otros registros más detallados, algunos de ellos con mayor intensidad que otros. De los sismos mejor registrados en el pasado, según E. Silgado (1968) se tiene:

- 05 de Diciembre de 1875, a las 21:30 horas, hubo un violento sismo en Abancay y que fue antecedido por dos movimientos y seguido por 27 réplicas durante las 9 horas siguientes a la detonante. Las ondas sísmicas fueron percibidas hasta el pueblo de Curahuasi.
- 30 de Marzo de 1953, a las 17:45 horas, se sintió un temblor en el Cusco con una intensidad de grado V MM, con una distancia epicentral de 400 Km, en Curahuasi se produjeron deslizamientos de las partes altas de los cerros.
- 16 de Marzo de 1954, a las 10:19 horas se sintió un movimiento sísmico en el Cusco y Tambobamba con una intensidad de IV MM.
- 15 de Mayo de 2016, a las 19:51 horas, se produjo un movimiento sísmico en la ciudad de Abancay con una magnitud de 4.3 ML y de intensidad III; el epicentro fue en el poblado de Yaca.

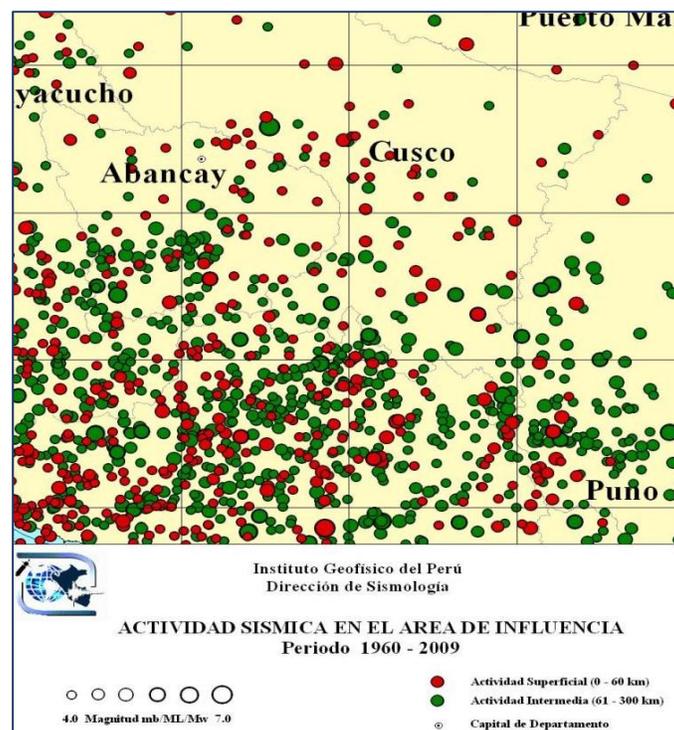


Gráfico 036: Muestra la actividad sísmica presente en el período 1960-2009 en la zona sur del país. Fuente: IGP.



### 6.1.3.2. SISMICIDAD, ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN APURÍMAC

El Centro Nacional de Monitoreo Sísmico, que está a cargo del Área de Investigación en Sismología, del IGP; cumple la función de monitorear de manera continua la actividad sísmica que ocurre en nuestro país, haciendo uso de información sísmica proveniente de la Red Sísmica Nacional (RSN) y la Red Sísmica Satelital para la Alerta Temprana y Tsunamis (REDSSAT). Ocurrido los sismos, se procede al análisis de las señales sísmicas registradas y al cálculo de los parámetros hipocentrales que caracterizan a los sismos (fecha, tiempo, origen, coordenadas del epicentro, profundidad del foco, magnitud e intensidades sísmicas evaluadas). Esta información es enviada a la Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú (DHN) para las posibles alarmas sobre la ocurrencia de tsunamis y al Instituto Nacional de Defensa Civil para fines de mitigación del posible daño causado por los sismos.

Para el presente trabajo, tenemos los siguientes sismos registrados de acuerdo al Centro Nacional de Monitoreo Sísmico, que datan a partir del 2010 en las siguientes tablas:

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.54°	
Longitud	-72.70°	
Profundidad	12 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	3.4 ML	Magnitud Local
Referencia	22 km al Este-NE de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	10 de Julio del 2018	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	11 h 10 min	Tiempo Universal Coordinado

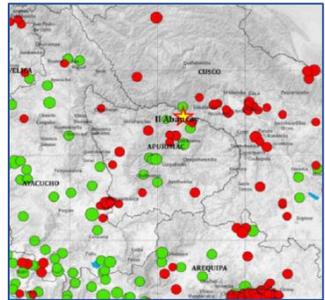


Tabla 035: Sismo del 10 de Julio del 2018, de las 06 h 10 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°137 - 2018 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.57°	
Longitud	-72.61	
Profundidad	8 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	4.2 ML	Magnitud Local
Referencia	20 km al Oeste-SO de Limatambo	Limatambo
Intensidad Máxima	II - III en Limatambo y Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha, Hora Origen (UTC)	15 de Junio del 2018; 21 h 51 min	Tiempo Universal Coordinado

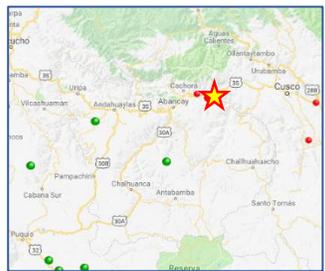


Tabla 036: Sismo del 15 de Junio del 2018, de las 21 h 51 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.08°	
Longitud	-72.95°	
Profundidad	123 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.6 ML	Magnitud Local
Referencia	26 km al Oeste de Chuquibambilla	Chuquibambilla
Intensidad Máxima	II en Chuquibambilla	Escala Mercalli Modificada
Fecha, Hora Origen (UTC)	08 de Abril del 2018; 09 h 24 min	Tiempo Universal Coordinado

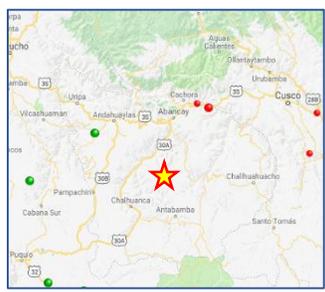


Tabla 037: Sismo del 08 de Abril del 2018, de las 09 h 24 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.76°	
Longitud	-73.53°	
Profundidad	96 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.2 ML	Magnitud Local
Referencia	19 km al Sur-Oeste de Andahuaylas	Andahuaylas
Intensidad Máxima	II en Andahuaylas	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	20 de Febrero del 2018	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	10 h 50 min	Tiempo Universal Coordinado

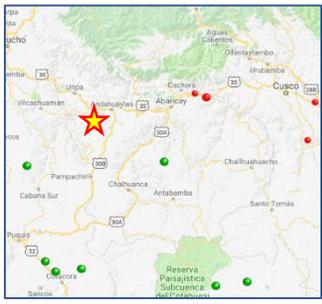


Tabla 038: Sismo del 20 de Febrero del 2018, de las 16 h 57 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.57°	
Longitud	-73.44°	
Profundidad	10 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	3.8 ML	Magnitud Local
Referencia	38 km al Sur-Oeste de Chalhuanca	Aymaraes
Intensidad Máxima	II en Chalhuanca	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	18 de Julio del 2017	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	05 h 13 min	Tiempo Universal Coordinado

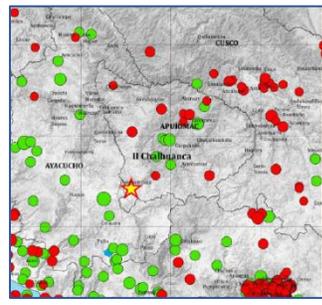


Tabla 039: Sismo del 18 de Julio del 2017, de las 00 h 13 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°181 - 2017 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.11°	
Longitud	-73.51°	
Profundidad	10 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	3.8 ML	Magnitud Local
Referencia	35 km al Oeste-NO de Chalhuanca	Aymaraes
Intensidad Máxima	II - III en Chalhuanca	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	18 de Julio del 2017	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	01 h 13 min	Tiempo Universal Coordinado

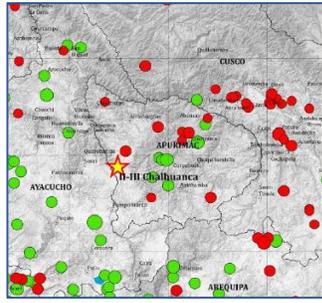


Tabla 040: Sismo del 17 de Julio del 2017, de las 20 h 13 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°178 - 2017 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.58°	
Longitud	-72.90°	
Profundidad	93 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	3.9 ML	Magnitud Local
Referencia	7 km al Norte-NO de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	25 de Febrero del 2017	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	16 h 26 min	Tiempo Universal Coordinado

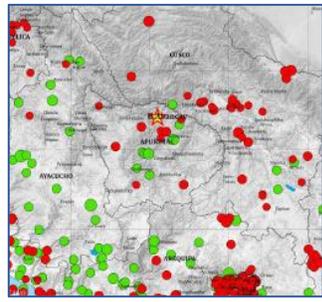


Tabla 041: Sismo del 25 de Febrero del 2017, de las 11 h 26 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°058 - 2017 CNMS-IGP.

Nota: El Epicentro se toma como referencia la Plaza de Armas de la ciudad y/o localidad, y la Intensidad Máxima corresponde a la localidad más cercana al epicentro.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.68°	
Longitud	-72.62°	
Profundidad	76 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.3 ML	Magnitud Local
Referencia	28 km al Este de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay y Andahuaylas	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	29 de Diciembre del 2013	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	08 h 03 min	Tiempo Universal Coordinado

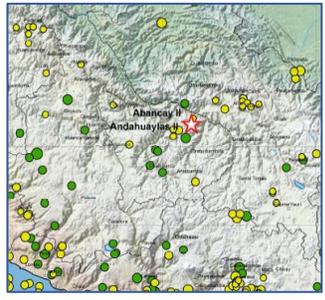


Tabla 042: Sismo del 29 de Diciembre del 2013, de las 03 h 03 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°216 - 2013 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.96°	
Longitud	-73.43°	
Profundidad	16 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	4.1 ML	Magnitud Local
Referencia	34 km al Sur de Andahuaylas	Andahuaylas
Intensidad Máxima	II en Andahuaylas	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	10 de Julio del 2013	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	20 h 42 min	Tiempo Universal Coordinado

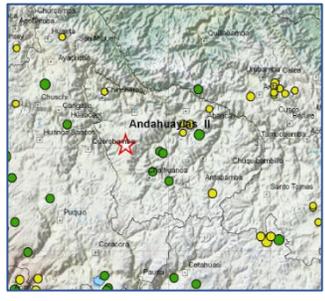


Tabla 043: Sismo del 10 de Julio del 2013, de las 15 h 42 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°103 - 2013 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.87°	
Longitud	-72.70°	
Profundidad	90 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	5.7 ML	Magnitud Local
Referencia	32 km al Sur-Este de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	IV en Abancay y Chuquibambilla	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	21 de Mayo del 2013	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	23 h 02 min	Tiempo Universal Coordinado

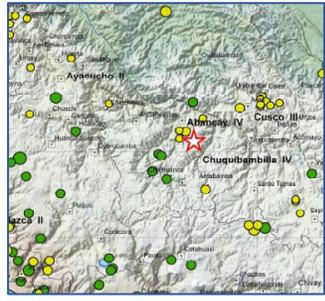


Tabla 044: Sismo del 21 de Mayo del 2013, de las 18 h 02 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°080 - 2013 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.44°	
Longitud	-72.57°	
Profundidad	22 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	4.1 ML	Magnitud Local
Referencia	35 km al Este-SE de Antabamba	Antabamba
Intensidad Máxima	II en Antabamba	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	30 de Enero del 2013	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	05 h 59 min	Tiempo Universal Coordinado

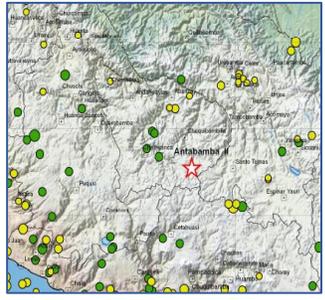


Tabla 045: Sismo del 30 de Enero del 2013, de las 00 h 59 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°015 - 2013 CNMS-IGP.

**ML:** Magnitud Local definida inicialmente por Richter en 1954. Para el Perú, ML es obtenida desde la Magnitud Md (Magnitud duración) utilizando la expresión  $Md = a \log(J) - b + cD$ ; donde D, es la distancia epicentral y **a**, **b** y **c** son coeficientes ajustados para que Md corresponda a ML.

- **Intensidad Máxima II:** Sentido sólo por personas en reposo, especialmente si se encuentran en edificaciones con más de dos pisos. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.05°	
Longitud	-73.06°	
Profundidad	115 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.6 ML	Magnitud Local
Referencia	50 km al Sur-Oeste de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	20 de Septiembre del 2012	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	06 h 08 min	Tiempo Universal Coordinado

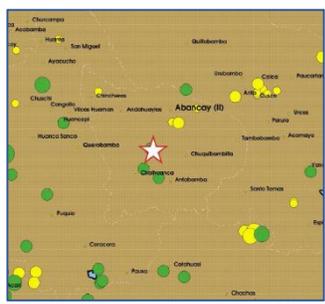


Tabla 046: Sismo del 20 de Septiembre del 2012, de las 01 h 08 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°158 - 2012 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.43°	
Longitud	-72.71°	
Profundidad	83 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.6 ML	Magnitud Local
Referencia	29 km al Nor-Este de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha (UTC)	16 de Julio del 2012	Fecha/Hora
Hora Origen (UTC)	03 h 33 min	Tiempo Universal Coordinado

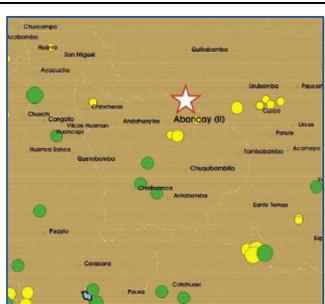


Tabla 047: Sismo del 15 de Julio del 2012, de las 22 h 33 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°114 - 2012 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.32°	
Longitud	-73.00°	
Profundidad	122 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.5 ML	Magnitud Local
Referencia	14 km al Oeste-NO de Antabamba	Antabamba
Intensidad Máxima	III en Antabamba y Cusco	Escala Mercalli Modificada
Fecha (GMT)	22 de Noviembre del 2011	Fecha/Hora
Hora Origen (GMT)	23 h 02 min	Meridiano de Greenwich

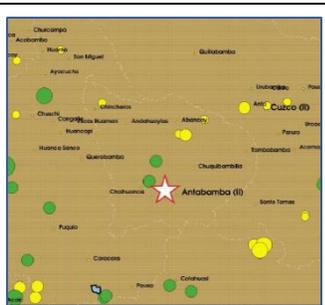


Tabla 048: Sismo del 22 de Noviembre del 2011, de las 18 h 02 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°124 - 2011 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-13.76°	
Longitud	-72.86°	
Profundidad	9 km	Evento de Foco Superficial
Magnitud	3.7 ML	Magnitud Local
Referencia	13 km al Sur-SE de Abancay	Abancay
Intensidad Máxima	II en Abancay	Escala Mercalli Modificada
Fecha (GMT)	07 de Septiembre del 2011	Fecha/Hora
Hora Origen (GMT)	20 h 29 min	Meridiano de Greenwich

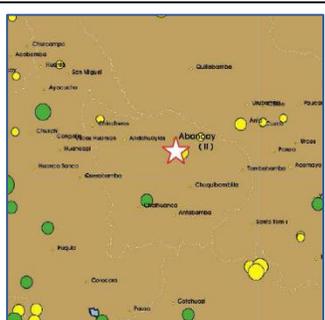


Tabla 049: Sismo del 07 de Septiembre del 2011, de las 15 h 29 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°091 - 2011 CNMS-IGP.

COORDENADAS DEL EPICENTRO		APURÍMAC
Latitud	-14.03°	
Longitud	-73.09°	
Profundidad	95 km	Evento de Foco Intermedio
Magnitud	4.9 ML	Magnitud Local
Referencia	33 km al Norte-NE de Chalhuanca	Aymaraes
Intensidad Máxima	II en Chalhuanca	Escala Mercalli Modificada
Fecha (GMT)	10 de Agosto del 2010	Fecha/Hora
Hora Origen (GMT)	04 h 52 min	Meridiano de Greenwich

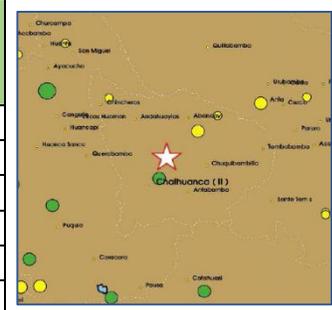


Tabla 050: Sismo del 09 de Agosto del 2010, de las 23 h 52 min (Hora local). Fuente: Boletín Sísmico N°091 - 2011 CNMS-IGP.

- **Intensidad Máxima III:** Sentido por personas dentro de edificaciones, especialmente en pisos superiores. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión. Duración apreciable.
- **Intensidad Máxima IV:** Sentido por muchas personas en el interior de viviendas y por pocos en el exterior de viviendas. Vibración de puertas y ventanas. Algunas personas salen al exterior.

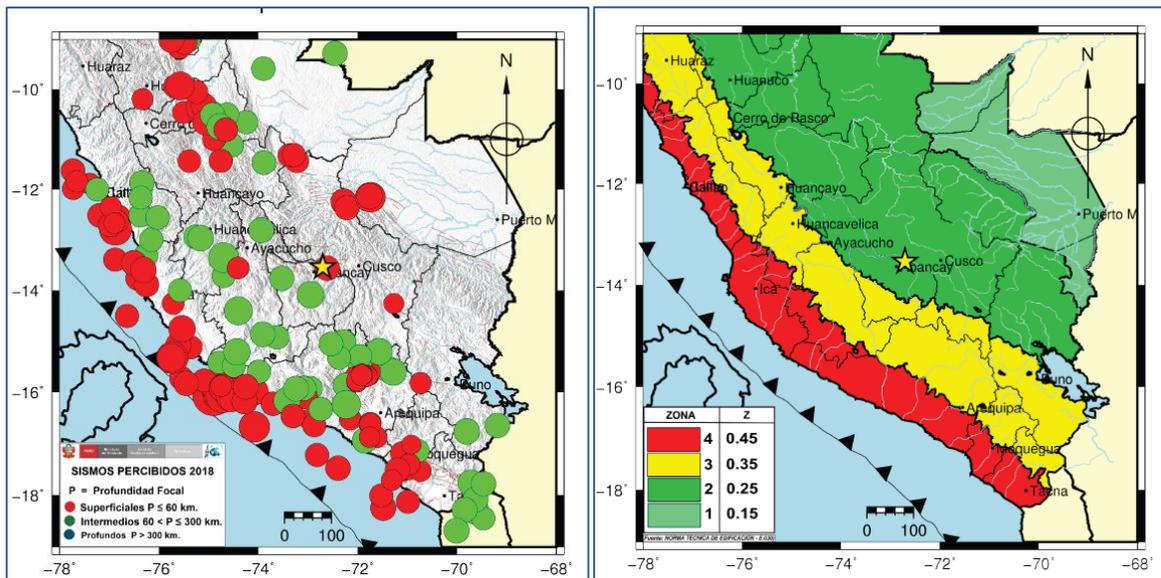


Gráfico 037 (Izquierda): Mapa sísmico de sismos percibidos durante el 2018. Gráfico 038 (Derecha): Mapa de zonificación sísmica de la región sur y centro del país. Fuente: IGP.

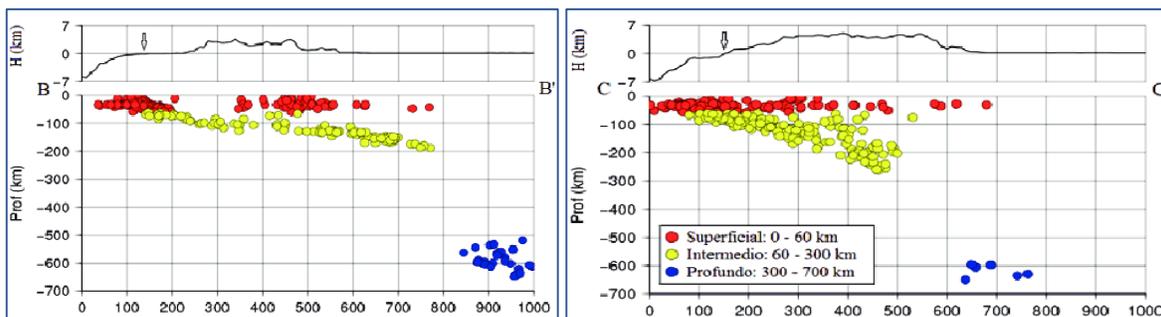


Gráfico 039 y Gráfico 040: Perfiles verticales de topografía y sismicidad del Perú, para el período 1973 - 2014. Las flechas indican la costa peruana. Gráfico Izquierda: Perfil para el centro. Gráfico Derecha: Perfil para el sur del país. Fuente: IGP.

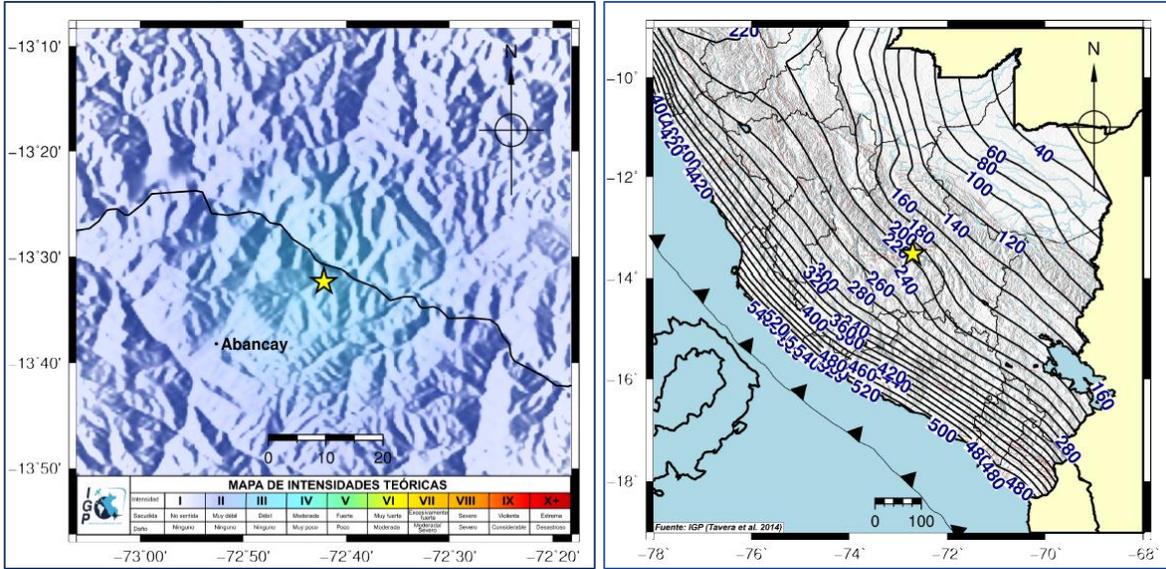


Gráfico 041 (Izquierda): Mapa de Intensidad teórica. Gráfico 042 (Derecha): Mapa de peligro sísmico. Ambos gráficos están elaborados a partir del sismo del 10 de Julio del 2018, el que tuvo lugar a 22 km al E-NE de la ciudad de Abancay. Fuente: IGP.

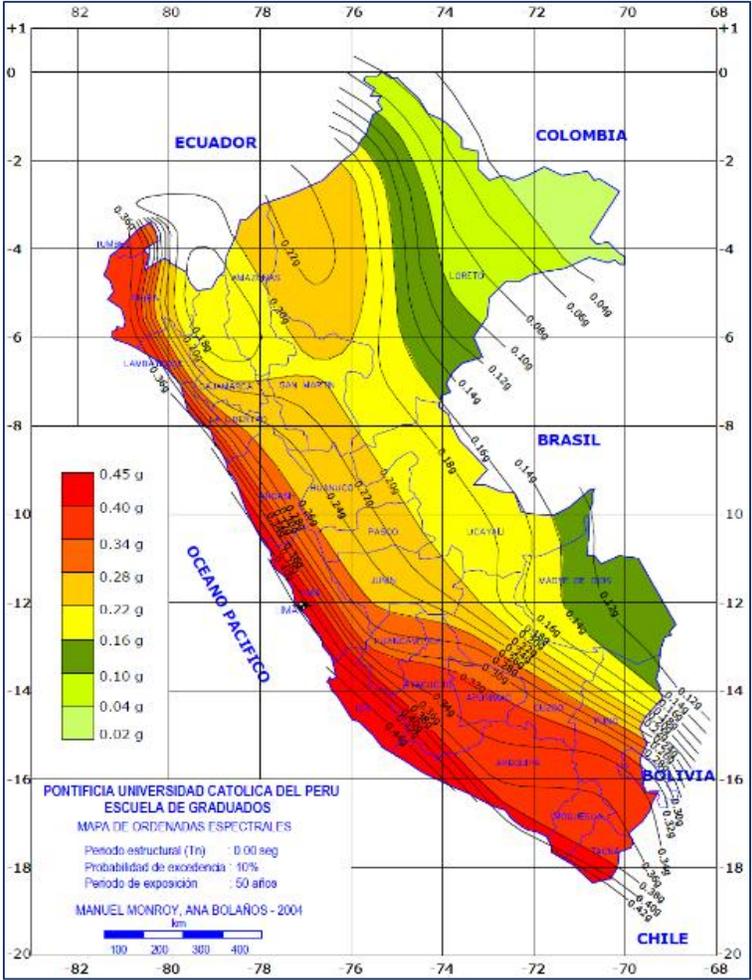


Gráfico 043: Distribución de aceleraciones en Perú para un periodo de exposición de 50 años y 10% de probabilidad de excedencia

## 6.2. GEODINÁMICA EXTERNA

Los procesos geodinámicos y/o peligros geológicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos al afectar de una forma directa o indirecta, a las actividades humanas. Eventos tan variados como la disolución, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y las precipitaciones pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, flujos de detritos, asentamientos, reptación de suelos, etc. Estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar sus condiciones.

A nivel de la región Apurímac, y teniendo en cuenta la configuración andina de su relieve, es frecuente la ocurrencia de eventos geodinámicos externos como: deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos, asentamientos, reptación de suelos, volcamientos, etc. Tomando dicha premisa, la topografía del área de trabajo es bastante peculiar respecto a las condiciones geológico-estructurales, por lo que es frecuente la ocurrencia de dichos movimientos en masa (Tabla 052), y algunos peligros hidrometeorológicos.

A lo largo de estos últimos años, el estudio sobre los peligros geológicos e hidrometeorológicos han venido tomando mucha importancia debido a que el conocimiento, prevención y mitigación de estos, sirven para una mejor planificación en el crecimiento de grandes urbanizaciones o en la creación de nuevas ciudades; además, que permite salvaguardar la economía de un pueblo, prevenir pérdidas humanas, infraestructuras civiles y demás aspectos socioeconómicos. Son por estas razones, que se gesta y desarrolla el presente trabajo “Geología Aplicada al Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Abancay”; ya que durante los últimos años, la ciudad de Abancay al igual que muchas ciudades importantes de las diferentes regiones del país, vinieron creciendo sin planificación respecto a sus proyecciones urbanísticas y de desarrollo socioeconómico.

Es así que debido a la gran ocurrencia de eventos de geodinámica externa “Peligros Geológicos” y peligros hidrometeorológicos, se hace importante el hecho de determinar las principales causas que activan dichos eventos y los daños que podrían provocar en la población abanquina.

### 6.2.1. CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Los factores que controlan los movimientos que se dan en la superficie terrestre son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, existiendo así los factores condicionantes o pasivos, los que dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno; mientras que los factores desencadenantes o activos son los responsables de provocar la ocurrencia de los eventos, su velocidad y magnitud.

Así la estabilidad del terreno está determinada por factores geométricos como la altura e inclinación del terreno, factores geológicos que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad del terreno, factores hidrogeológicos como la presencia de agua y factores geotécnicos como las características físicas de las rocas y suelos, o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno como la resistencia y la deformabilidad. Sin embargo dicha determinación del estado del terreno, continuamente a causa de las actividades humanas viene sufriendo cambios constantes.

## 6.2.2. FACTORES CONDICIONANTES

Se refiere al estado natural del relieve, como sus características morfológicas y geométricas, y a las propiedades físicas y resistentes de los materiales (directamente relacionadas con la litología), los que sumados a agentes externos meteorológicos o geológicos, propician y/o facilitan la generación de peligros geológicos e hidrometeorológicos. Por ello se considera al relieve como factor determinante, ya que es necesaria cierta pendiente para la ocurrencia de los movimientos gravitacionales.

## 6.2.3. FACTORES DESENCADENANTES

Son los factores que determinan la ocurrencia de los movimientos en masa, ya que su producción en el medio geográfico, termina aumentando o disminuyendo hasta llevar al límite los diferentes parámetros de los factores condicionantes (Tabla 051). Así, dentro de los agentes desencadenantes tenemos como el más importante a las precipitaciones, caudal de los manantes y quebradas, cambios en las condiciones hidrogeológicas, erosión de laderas y los terremotos.

	FACTORES	INFLUENCIA Y EFECTOS
<b>Condicionantes</b>	Relieves (Pendiente, geometría).	Distribución del peso del terreno.
	Litología (Composición, textura).	Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico.
	Estructura geológica y estado tensional.	Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo. Zonas de debilidad.
	Propiedades geomecánicas de los materiales.	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales.
	Deforestación.	Modificación en el balance hídrico. Erosión.
	Meteorización.	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.
<b>Desencadenantes</b>	Precipitaciones y aportes de agua.	Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno. Saturación en suelos. Erosión.
	Cambio en las condiciones hidrológicas.	
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas.	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales.
	Cambios morfológicos y de geometría en las laderas.	Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambios en el estado tensional.
	Erosión o socavación del pie.	Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera.
	Acciones climáticas (Procesos de deshielo, heladas y sequías).	Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes.

Tabla 051: Influencia de factores en las condiciones de los materiales. Fuente: Ingeniería Geológica - Luis I. González de Vallejo.

Tomando en consideración la tabla anterior, para nuestro estudio, pasan a ser determinantes para la ocurrencia de movimientos en masa gravitacionales: la pendiente del terreno, los suelos limo-arcillosos, estructuras geológicas, comportamiento hidrogeológico de las rocas y las precipitaciones.

## 6.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

En la clasificación de los movimientos en masa suele referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido de agua en el terreno y la velocidad y magnitud del movimiento. Algunas de las clasificaciones más extendidas (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; EPOCH, 1993; Dickau et al, 1996), con diversos criterios y fines, son de gran utilidad para abordar el estudio de los movimientos en masa o movimientos de ladera.

TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA (MOVIMIENTOS DE REMOSIÓN EN MASA)	
TIPO	SUB-TIPO
Deslizamientos	Deslizamientos rotacionales (En rocas o suelos). Deslizamientos traslacionales (En rocas o suelos).
Flujos	Flujo de detritos. Flujo de lodo. Flujo de suelos.
Caídas	Caída de rocas. Derrumbes.
Volcamientos	Volcamiento de rocas. Volcamiento de suelos.
Avalanchas	Avalancha de detritos o derrubios. Avalancha de rocas.
Reptación	Reptación de suelos.
Asentamiento	Asentamiento de suelos o hundimiento.

Tabla 052: Clasificación general de los movimientos de ladera. Fuente: Modificado de Luis I. González de Vallejo.

### 6.2.4.1. CAÍDA DE ROCAS

También conocidos como desprendimientos, se refiere a caídas libres bastante rápidas de bloques o masas rocosas (Gráfico 044) independizadas por planos de discontinuidad preexistentes, que podrían ser tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, etc. Son frecuentes en laderas escarpadas, en acantilados y, en general en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y en bloques formados por varias familias de discontinuidades. Los factores que los provocan son la erosión y pérdida de apoyo de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades y grietas, los movimientos sísmicos, etc.

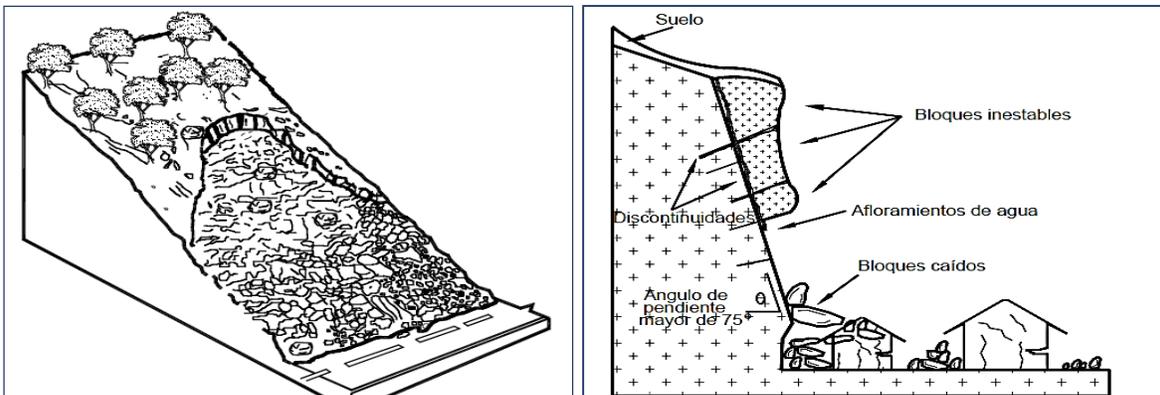


Gráfico 044 (Izquierda): Diagrama de un derrumbe. Gráfico 045 (Derecha): Modelo de caída de rocas. Fuente: "Deslizamientos: Análisis geotécnico - Jaime Suárez"



### a) DERRUMBES EN LA CARRETERA ABANCAY-CUSCO

La carretera Abancay-Cusco, en su tramo desde el sector de Chillcapata hasta Ccanabamba Alta, está constituido por rocas intensamente fracturadas y altamente meteorizadas principalmente rocas ígneas monzograníticas y cuarzodioríticas del plutón Lambrama y Ocobamba respectivamente, los mismos que dieron lugar a suelos eluviales (Foto 080), y que estos a su vez sufrieron transporte hacia las zonas bajas, mediante escorrentía superficial, donde formaron considerables volúmenes de suelos limoarcillosos inconsolidados, que en períodos de precipitaciones, son altamente susceptible para la ocurrencia de derrumbes, flujos de detritos locales (Foto 081) y deslizamientos.

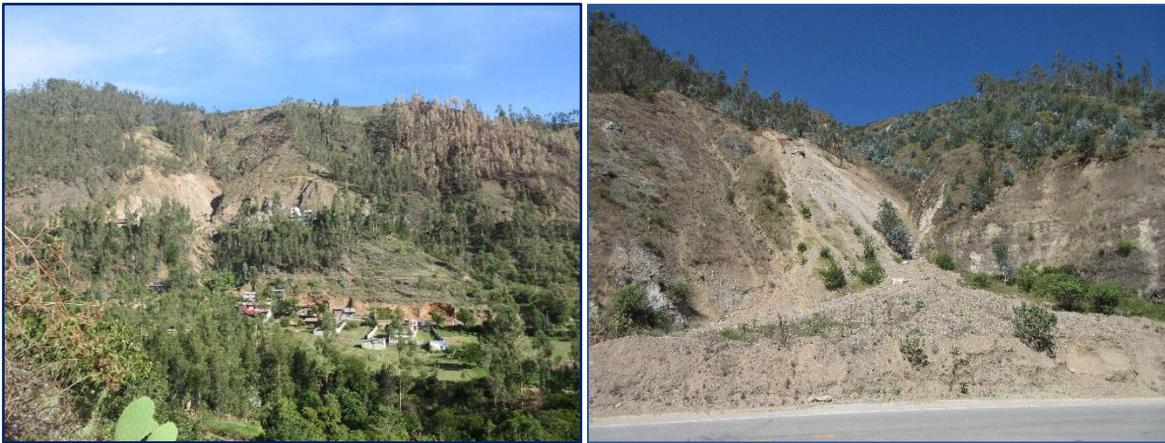


Foto 080 (Izquierda). Derrumbes en el talud de la carretera Abancay-Cusco, en el sector de Ccolcaqui. Foto 081 (Derecha): Flujo de detrito local, en el sector de Ccolcaqui, llegando a interrumpir el tránsito en la vía Abancay-Cusco.

#### 6.2.4.3. REPTACIÓN DE SUELOS “CREEP”

Consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno. La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como flujos o deslizamientos traslacionales y comúnmente ocurre en las laderas con pendientes bajas. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en los suelos, usualmente arcillosos, muy blandos o alterados, con características expansivas. Las evidencias de reptación consisten en la inclinación de postes, árboles y cercas (Gráficos 046 y 047).

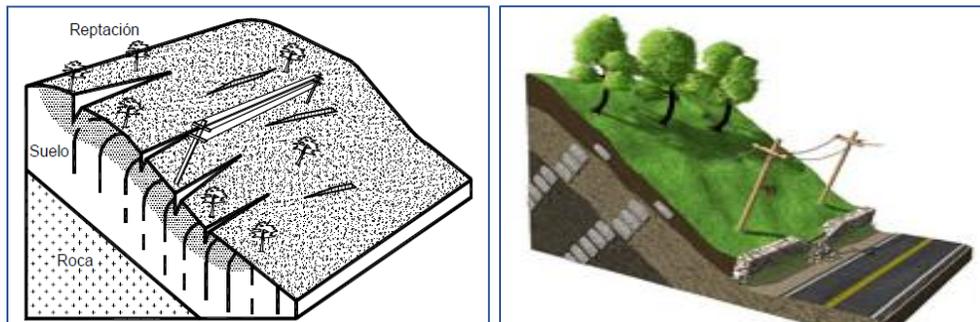


Gráfico 046 y 047: Relieves característicos con reptación de suelos. Fuente: “Deslizamientos: Análisis geotécnico - Jaime Suárez”

#### 6.2.4.4. HUNDIMIENTOS - ASENTAMIENTOS

Son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en las cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos; estos pueden ser de gran magnitud o relativamente pequeños. Los hundimientos obedecen a diferentes causas naturales, pero las más importantes se dan cuando las cavidades o depresiones naturales en el terreno pueden darse debido a la presencia de materiales solubles, como son las rocas carbonatadas y evaporíticas, donde los procesos de disolución crean cavidades que terminan en hundimientos del terreno.

El asentamiento o subsidencia consiste en el descenso altitudinal generalizado del terreno. Los movimientos masivos de subsidencia se dan desde muy lentos a rápidos, afectando a todo tipo de terreno, pero generalmente a suelos y se deben principalmente a cambios tensionales inducidos en el terreno, debido a las siguientes causas:

- Descenso del nivel freático.
- Minería subterránea y túneles.
- Explotación de aguas subterráneas.
- Procesos lentos de disolución de materiales carbonatados y evaporíticos.
- Procesos morfotectónicos y de sedimentación.
- Procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos (compresión heterogénea del terreno).

Los hundimientos y/o asentamientos suponen un riesgo muy alto cuando ocurren en zonas urbanas como es el caso de nuestro estudio, al dañar y agrietar a las edificaciones (Foto 082) y afectar a sus cimientos. Los tipos de suelos más susceptibles a los procesos de subsidencia, son los orgánicos, las turbas, los rellenos no compactados y los suelos tipo permafrost.

##### a) REPTACIÓN DE SUELOS Y ASENTAMIENTOS EN EL BARRIO FONAVI

La inestabilidad de esta zona es conocida por toda la población abanquina, puesto que su movimiento es evidente y los permanentes daños en instalaciones civiles, también lo corroboran. Es por ello que el Barrio Fonavi, a nivel del interior del casco urbano de la ciudad de Abancay, representa uno de los sectores con un, muy alto nivel de riesgo, ya que la litología de gran parte del sector responde a materiales de relleno y desmonte, además de que la zona históricamente era una quebrada con sus respectivas áreas de carcavamiento o afluentes pluviales, y es por este precedente que en el barrio en mención existen permanentes surgencias y manantes (Foto 086), y las condiciones se agravan más en los períodos de precipitación, donde el suelo predominantemente limoarcilloso tiende a presentar un comportamiento móvil; ya que se observaron que algunas viviendas, presentan rajaduras (Foto 082) y subsidencias de un bloque de terreno respecto a otro (Foto 084).

Actualmente el Barrio Fonavi, ha crecido y se ha urbanizado de manera caótica y aumentado su población dramáticamente rápida respecto a hace una década, y es debido a este hecho que los ejemplos o muestras que indican que hay asentamientos y reptación de suelos en el lugar, son muy claros, ya que se observan inclinaciones en los postes de alumbrado público (Foto 085), rajaduras en la paredes de las casas de adobe, separaciones de columnas entre viviendas, ondulaciones en las pistas y veredas, surgencias de agua, entre otras evidencias.



Foto 082 (Izquierda): Muestra de una rajadura en una vivienda de adobe, en el Pasaje Almirante Miguel Grau, en el barrio Puca. Foto 083 (Derecha): Inclinación de poste y asentamiento de suelo en la Urb. Fonavi.



Foto 084 (Izquierda): Asentamiento de suelo en la Av. Micaela Bastidas, en la Urb. Fonavi. Foto 085 (Derecha): Poste inclinado, que evidencia la reptación de suelos en el sector de la UTEA.

Además del sector Fonavi, se observaron algunos ejemplos de asentamientos y reptación de suelos, los cuales se extienden incluso de este a oeste, desde el sector de la Universidad Tecnológica de los Andes (UTEA), hasta la quebrada Ñacchero y de norte a sur, desde la vía Panamericana hasta la vía de evitamiento; sin embargo, más al norte de la vía de evitamiento, también se observaron algunas surgencias de agua y colapsos en taludes de la carretera (Foto 087), por lo que, se piensa que el sector de Fonavi y las áreas periféricas inmediatas a éste forman parte de un gran deslizamiento antiguo “Deslizamiento Muyoqcorral”.



Foto 086 (Izquierda): Basta vegetación de carrizos en el sector de Casa Blanca, que indica la alta saturación en agua del suelo. Foto 087 (Derecha): Asentamientos de suelos en el sector de la Vía de Evitamiento, al norte de la Urb. Fonavi.

### 6.2.4.5. DESLIZAMIENTOS

Son movimientos de masas de suelo o roca, que consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa coherente o varias unidades independientes.

### 6.2.4.6. DESLIZAMIENTO ROTACIONAL

Son más frecuentes en suelos cohesivos homogéneos. La rotura, superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas. Un deslizamiento rotacional posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. En este tipo de deslizamientos, el movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera flujos de materiales por debajo del pie de deslizamiento. La cabeza del movimiento bascula hacia atrás y si hay presencia de árboles, estas se inclinan de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.

Dentro de un deslizamiento rotacional ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente, ocurren varios desplazamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de desplazamientos rotacionales independientes. Los casos más conocidos de deslizamientos rotacionales se dan en suelos arcillosos blandos y en suelos residuales.

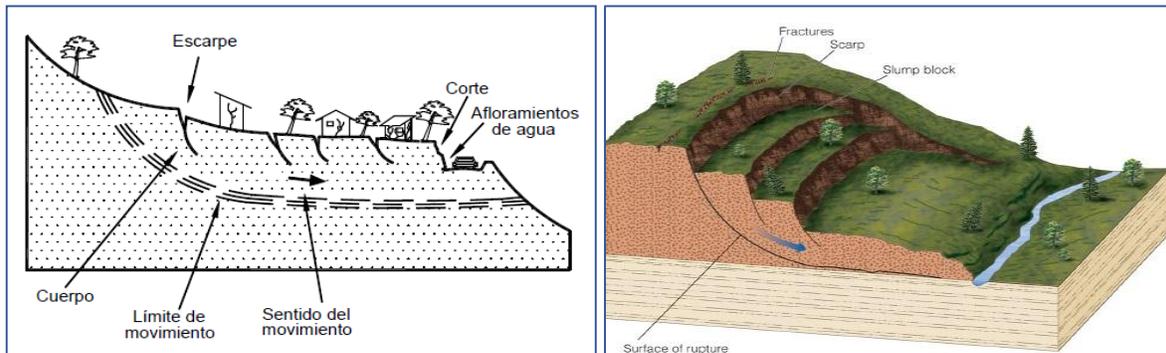


Gráfico 048 y 049: Modelos de relieve característicos de un deslizamiento del tipo rotacional. Fuente: "Deslizamientos: Análisis geotécnico - Jaime Suárez"

#### a) DESLIZAMIENTO DE MUYOQCORRAL

De acuerdo a algunas observaciones en campo, fotografías de los años 1990 y 1992 de los sectores de Leonpampa (Foto 090) y Muyoqcorral (Foto 89), y corroborado mediante Imagen Satelital (Gráfico 049), el sector del deslizamiento de Muyoqcorral, responde a un deslizamiento antiguo, ligeramente estabilizado en la zona cercana a la corona, pero bastante activo en los niveles inferiores. Es así que los sectores de Leonpampa, Muyoqcorral, Molinopata, Limapata, PucaPuca; las urbanizaciones de Fonavi, San Agustín, Santa Teresa, Bellavista Alta, San Luis, Limapata Baja, entre otros; se hallan sobre la masa de suelo desplazada por dicho deslizamiento; razón por la que, en gran parte de los sectores antes mencionados, se dan eventos de reptación de suelos, asentamientos de suelos, surgencias de agua y áreas con una saturación de agua en suelos. Este deslizamiento es del tipo rotacional, debido a que se observaron en años pasados grietas paralelas en áreas cercanas a la corona de deslizamiento, y a la cantidad de áreas que presentan reptación de suelos.



Gráfico 049 (Derecha): Toma satelital del área de deslizamiento de Muyoqcorral, en entrelíneas rojas, con referencia a la ciudad de Abancay. Foto 088 (Izquierda): Tipo de material limoarcilloso, en el sector de Molinopata.



Foto 089: Toma fotográfica del año 1992, mostrando paredes agrietadas en el sector de Puca Puca.



Foto 090: Grietas en el terreno en el sector de LeonPampa, toma fotográfica del año 1990.

#### 6.2.4.7. DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL

En el desplazamiento de traslación, la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie plana o ligeramente ondulada (Gráfico 051) y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación; superficie que pueden ser un plano de falla, fracturas, planos de estratificación, foliación o zona de contacto entre la roca y suelo (Gráfico 020). En muchos deslizamientos de traslación, al ser

estos rápidos, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendientes muy empinadas a escarpadas.

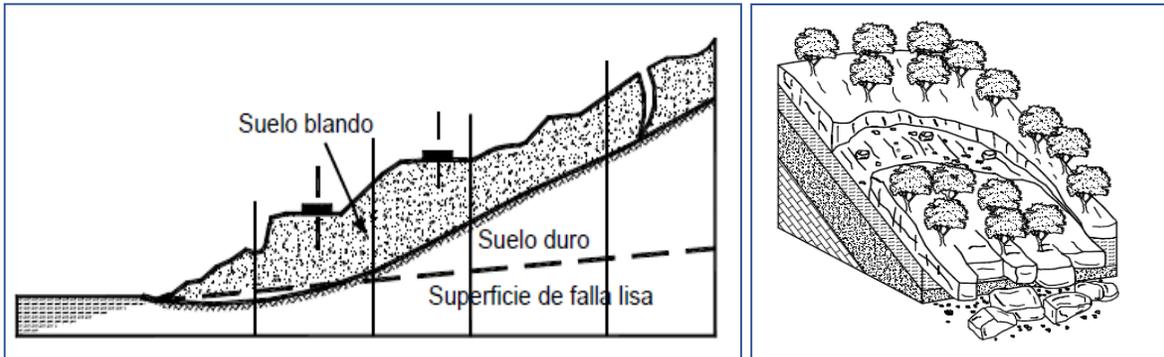


Gráfico 050 y 051: Modelos de deslizamiento traslacional. Fuente: "Deslizamientos: Análisis geotécnico - Jaime Suárez".

### a) DESLIZAMIENTO DE CCOCHA-PUMARANRA

Debido a su ubicación, sector nor-este de la ciudad de Abancay, el deslizamiento de Ccocha-Pumaranra, junto al deslizamiento de Muyoqcorral, son los sectores que más peligro representan para la población abanquina; más, el primero, ya que históricamente tiene registros de numerosas víctimas mortales y cuantiosas pérdidas socioeconómicas.

El sector de Ccocha y Pumaranra corresponde a una zona con una pendiente fuertemente inclinada ( $8^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ) en la parte inferior a moderadamente empinada ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ) en la parte superior, cubierta por un suelo del tipo coluvial, sobre un basamento de rocas del grupo Mitu, como areniscas y lutitas rojas altamente fracturadas. Dicha zona se caracteriza por la ocurrencia de deslizamientos antiguos y recientes con desplazamientos verticales.

Este deslizamiento (Foto 091) es del tipo planar o traslacional. Presenta uno de los acontecimientos históricos más lamentables en la historia de Abancay, en referencia a las víctimas mortales y por cómo se dieron tales decesos, la cual hace alusión al fatídico hecho del deslizamiento de Ccocha-Pumaranra, que se remonta a la madrugada del 18 de febrero de 1997 (Foto 093). Producido en el sector de Ccocha, distrito de Tamburco, donde el deslizamiento se produce a causa de la sobresaturación de suelo, que sumado a la pendiente y la inconsistencia del volumen de suelo, colapsó a manera de flujos de lodo y barro en la parte inferior del área del deslizamiento. Ese mismo año el 19 de febrero, se produjo un segundo deslizamiento afectando a más poblaciones cercanas a Ccocha y Pumaranra. El total de víctimas mortales que cobró el deslizamiento fueron más de 50 (Foto 094) y más de 200 desaparecidos; sepultando además a animales, viviendas y suelos agrícolas.

El sector de Cocha y Pumaranra, geológicamente está caracterizado por la presencia de areniscas rojas, lutitas rojas y suelos limoarcillosos, con una cobertura vegetal alta donde la presencia de aguas subterráneas es notoria debido al humedecimiento de los suelos y la surgencia de aguas en áreas periféricas al deslizamiento y en los niveles inferiores. Actualmente las poblaciones de Ccocha y Pumaranra siguen asentados sobre el depósito deslizado de aquel evento (Foto 092), además que realizan sus actividades agropecuarias, encontrándose así a un nivel de riesgo muy alto frente a otra ocurrencia de un deslizamiento.



Foto 091 y 092: Vista frontal y lateral del deslizamiento de Cocha y Pumaránra, y como se puede observar actualmente hay viviendas establecidas y áreas agrícolas cerca al cuerpo del deslizamiento.



Foto 093 y 094: Vistas fotográficas de las labores de rescate y los cuerpos sepultados, después de ocurrido el deslizamiento de Cocha y Pumaránra.

## b) DESLIZAMIENTO DE CHUYLLURPATA

El cerro Chuyllurpata, se levanta imponente en la cabecera del río Sahuanay, forma parte del Nevado del Ampay y ocupa áreas importantes en el Santuario Nacional del Ampay. Se caracteriza principalmente por estar conformado por una serie de estructuras geológicas (Gráfico 052) que dan a Abancay y Tamburco una zona alta de peligro.

Su releve es abrupto con fuertes pendientes a los laterales, y en la parte central domina una plataforma de baja pendiente, típica de áreas conformadas por material de deslizamientos y reptación de suelos. Este cerro está conformado por un gran cúmulo de material detrítico, constituido por fragmentos angulosos de lutitas negras deleznales acumuladas de manera caótica. Geométricamente se observa que el material del deslizamiento ocupa un aproximado de 1800m de largo (Gráfico 052), desde la caseta de vigilancia del Santuario Nacional del Ampay, hasta la zona de lajas denominada como Minasniyoc. El ancho es variable, ocupando en su parte más amplia una longitud aproximada de 600m.

Este deslizamiento de tipo traslacional, se comporta como evento conjunto, ya que depende en gran medida de su ocurrencia para que se pueda generar un movimiento en masa posterior como el Flujo de detritos del Sahuanay; por lo que es de vital importancia el tratado de las estructuras geológicas y grietas que se generan en el cerro Chuyllurpata, ya que con frecuencia son indicios para la ocurrencia de eventos de movimientos en masa en la quebrada de Sahuanay-Chinchichaca (Foto 96).

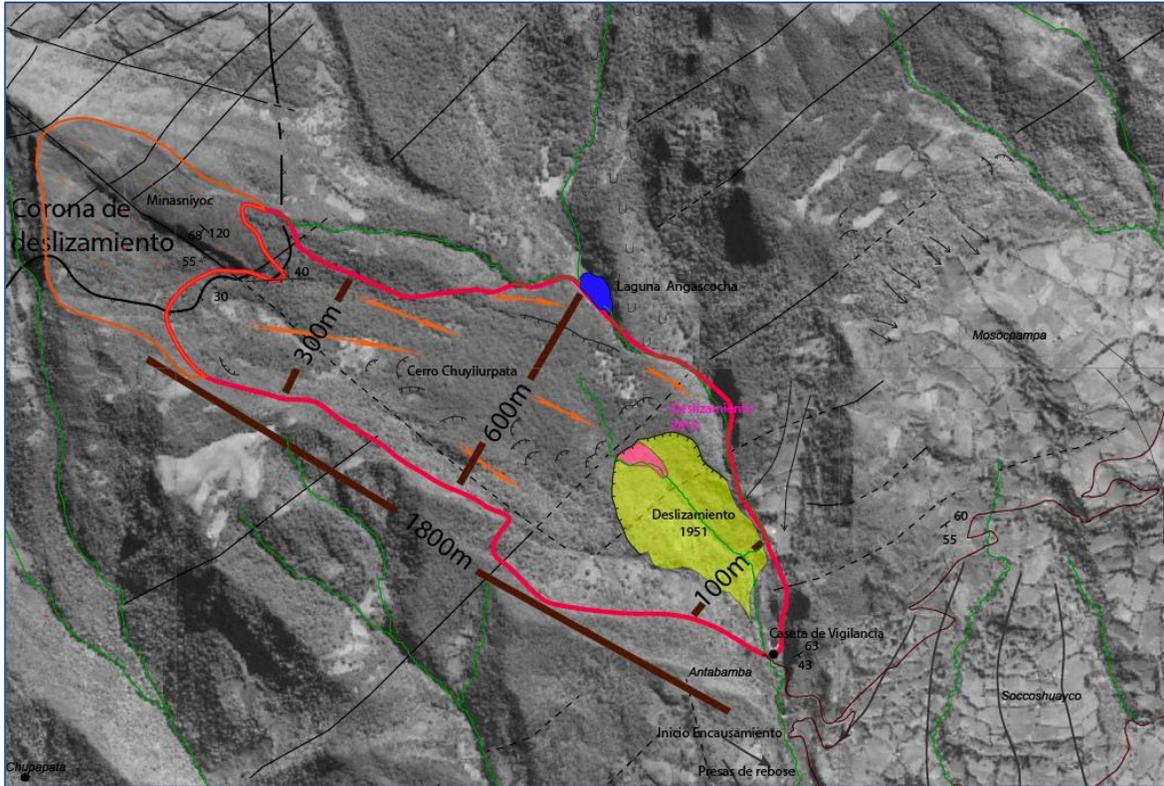


Gráfico 052: Imagen Satelital donde se observa la magnitud del deslizamiento de Chuyllurpata, resaltando las áreas de deslizamientos de 1951 y 2012. Fuente: Acosta H. 2017.

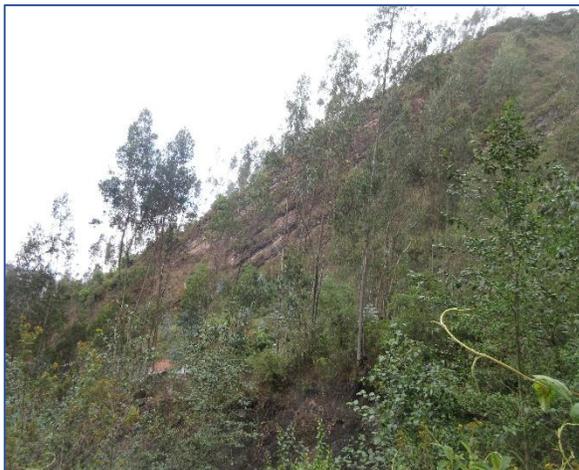


Foto 095 (Izquierda). Afloramiento de areniscas y lutitas rojas del grupo Mitu, en la Caseta del Santuario Nacional del Ampay.  
Foto 096 (Izquierda): Vista de las quebradas de Ullpahuaycco y Sahuanay-Chinchichaca, junto a la ciudad de Abancay.

### c) DESLIZAMIENTO DE CCONCHOPATA

Responde a un deslizamiento traslacional, que se encuentra ubicado en el sector sur-este de la ciudad de Abancay, en la quebrada de Aymas (río Puruchaca). Este deslizamiento se produjo a causa de la obstrucción de un canal de riego que pasa por este sector. Dicho evento se produjo el 29 de Julio del 2005, en el sector de Cconchopata, donde afectó a 5 familias, dejando 5 viviendas destruidas y 6 afectadas con serios daños. Actualmente el sector no presenta carcavamiento, desprendimiento de rocas o suelos, sin embargo, presenta escasa cobertura vegetal, por lo que aún representa un potencial peligro para la zona.

#### 6.2.4.8. FLUJOS DE DETRITOS

Los flujos de residuos o de detritos son movimientos relativamente rápidos que llegan a ser extremadamente rápidos y están compuestos de materiales gruesos con menos del 50 % de finos, por lo general un flujo de rocas termina en un flujo de detritos. Un flujo típico de detritos, tiene un recorrido largo de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que corre en forma constante, a través de un canal, donde el movimiento se inicia a velocidades moderadas y aumenta a medida que descienden por la ladera o cauce, recorrido, donde los materiales se van triturando provocando una diferenciación importante en el tamaño de los materiales de la cabeza y el pie del evento.

En un “flujo” ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques en su interior. Los flujos de detritos generalmente tienden a activarse por las precipitaciones. En el presente trabajo, es el flujo de detritos del Sahuanay, la cual representa uno de los mayores peligros para la ciudad de Abancay.

#### a) FLUJOS DE DETRITOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Representan un peligro medio a bajo, debido a la extensión y a la ubicación puntual de los mismos. Los principales puntos donde se cartografiaron los flujos de detritos, a excepción del Sahuanay, son: en el sector de Arahua, en el río Sahuinto, ambos ubicados en el sur de la ciudad de Abancay. Por otro lado, también se cartografiaron en: poblado de Auquibamba, sector de Santa Clara; en el flanco derecho del río Pachachaca y en el cerro Tinimpata, situados todos en el sector oeste y nor-oeste (Foto 097 y 098) de la ciudad de Abancay.

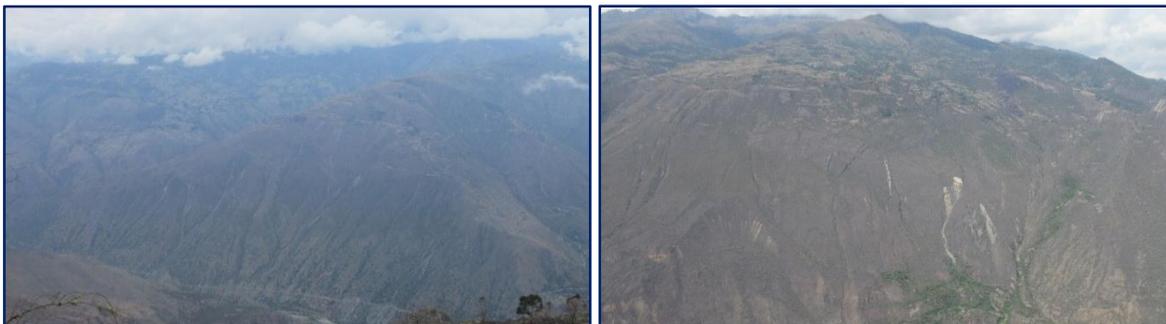


Foto 097 (Izquierda): Muestra de los flujos de detritos en el sector de Sahuinto. Foto 098 (Derecha): Flujos de detritos y deslizamientos traslacionales en el sector de Tinimpata, en el lado sur-oeste del Nevado del Ampay.



## b) FLUJO DE DETRITOS DEL SAHUANAY

En el presente estudio, se trata de manera especial el flujo de detritos del Sahuanay, debido a que es uno de los movimientos en masa que mayor peligro representa para la ciudad de Abancay, ya sea por las veces que ha ocurrido o por la extensión que alcanza dentro del casco urbano de la ciudad. Asimismo, se trata diferente, ya que algunos informes técnicos, catalogan a dicho evento como una “Avalancha de detritos”, debido principalmente a su poder destructivo, fuerza, volumen y velocidad con la que se dio en marzo del 2012.

Este evento tiene ya registros de ocurrencia en la historia de la población abanquina, algunos estudios hacen mención a los huaycos y deslizamientos del Sahuanay, pero recientemente, cuando dicho evento volvió a ocurrir, en Marzo del 2012, especialistas del INGEMMET, lo catalogaron como “Avalancha de detritos” en un primer reporte, para luego redefinirlo como un flujo de detritos. Por su ubicación y áreas de afectación, éste evento involucra gran parte del área urbana del distrito de Tamburco.

El primer gran registro de este movimiento en masa, se remonta al 19 de Febrero de 1951, la cual de acuerdo al informe realizado por Bellido y Indacochea (1951), hace mención que el huayco ocurrido en la quebrada del Sahuanay, sucedió en tres fases; mostrando primero grietas y espaciamiento en el terreno, seguido por el colapso del talud del terreno a causa de la sobresaturación de agua y la inconsistencia de los materiales para finalmente terminar en un huayco con un flujo de alrededor de 2 km de recorrido (Gráfico 053). Y por referencias del diario “La Patria”, dirigido por el profesor, Guillermo Viladegut Ferrufino; el aluvión o huayco del Sahuanay, rebasó el cauce del río Sahuanay-Chinchichaca, afectando los sectores cercanos al Olivo, la Av. Díaz Bárcenas, Av. Arequipa, Av. Venezuela, Av. Gamarra y otros sectores periféricos a dichos puntos urbanos.

Otro antecedente del movimiento en masa del Sahuanay, es el que se produjo el 17 de Marzo del 2012 acompañado de sucesivos eventos menores. La ocurrencia del flujo de detritos se da a causa de una sobresaturación del material por infiltración de agua en el deslizamiento del cerro Chuyllurpata (Foto 099). La alta precipitación pluvial de esas fechas, hizo que los conductos subterráneos de agua existentes en el deslizamiento, llegaran a saturar áreas muy superiores en la columna del sedimentos o material suelto, razón por la que se observó la aparición de ojos de agua (Foto 101) en zonas donde por lo general no existen. Este evento que se produjo en sucesivos momentos y con intensidades diferentes, impactó a gran escala a la población de Tamburco, dejando como saldo más de 300 viviendas destruidas, alrededor de 1500 personas afectadas, pérdidas de terrenos de cultivo, obstrucción y destrucción de infraestructuras de riego, entre otras pérdidas socioeconómicas (Foto 100).

Como ya lo habíamos indicado anteriormente, para la ocurrencia de un flujo de detritos del Sahuanay, es necesaria que se produzca el deslizamiento en el cerro Chuyllurpata.

De los eventos de geodinámica externa o movimientos en masa tratados en el presente capítulo, cabe resaltar que los que vienen afectando directamente a la población abanquina en estos últimos 10 años, son el flujo de detritos del Sahuanay y los asentamientos y reptación de suelos que se tienen en el barrio Fonavi; sin embargo, se deben de realizar estudios mayores en el deslizamiento de Ccocha-Pumaranra, ya que es un sector muy peligroso.

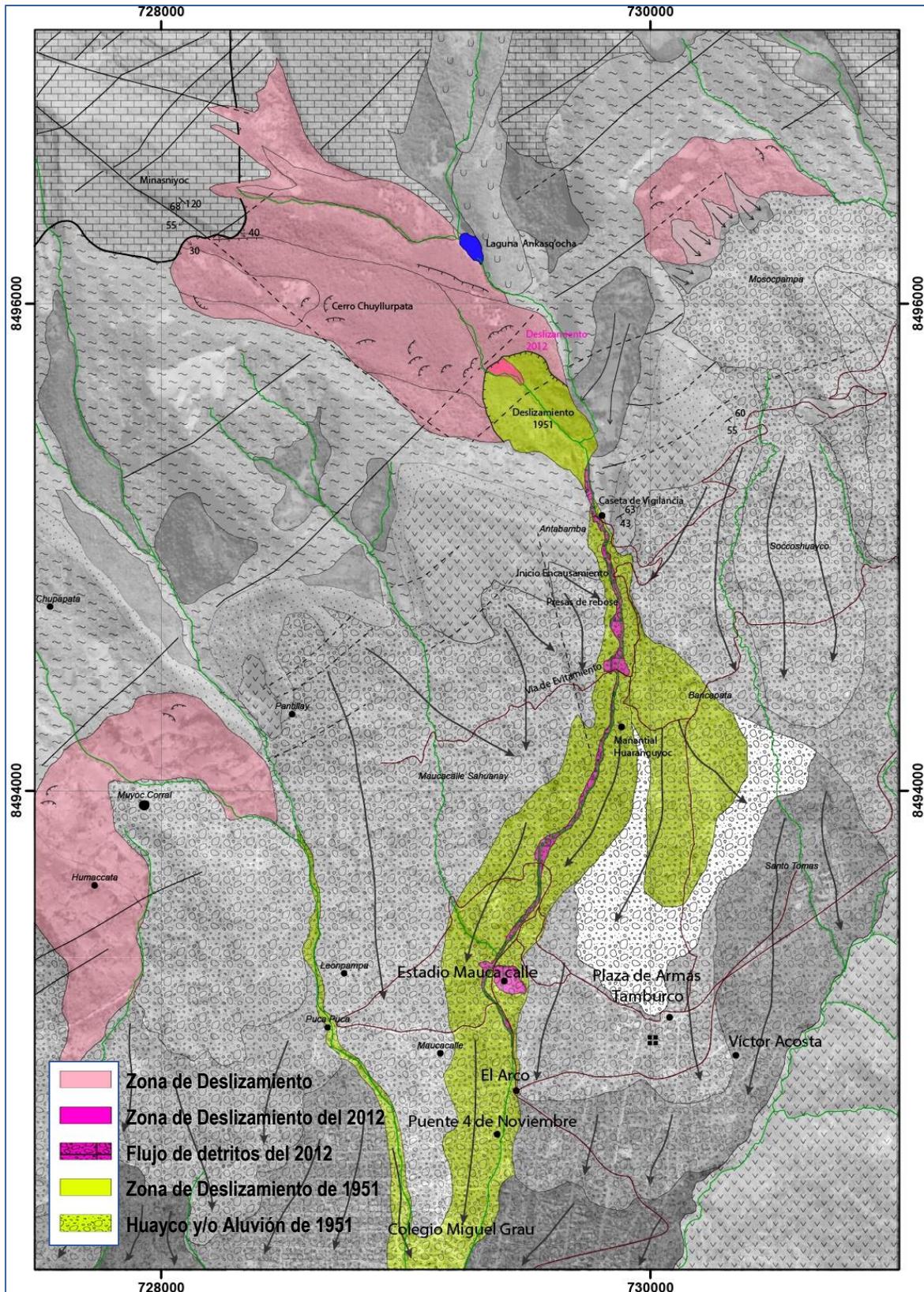


Gráfico 053: Imagen Satelital con cartografía de la Avalancha de detritos de 1951 y 2012, además de los peligros existentes en el sector de Chuyllurpata. Fuente: Acosta H. 2017.



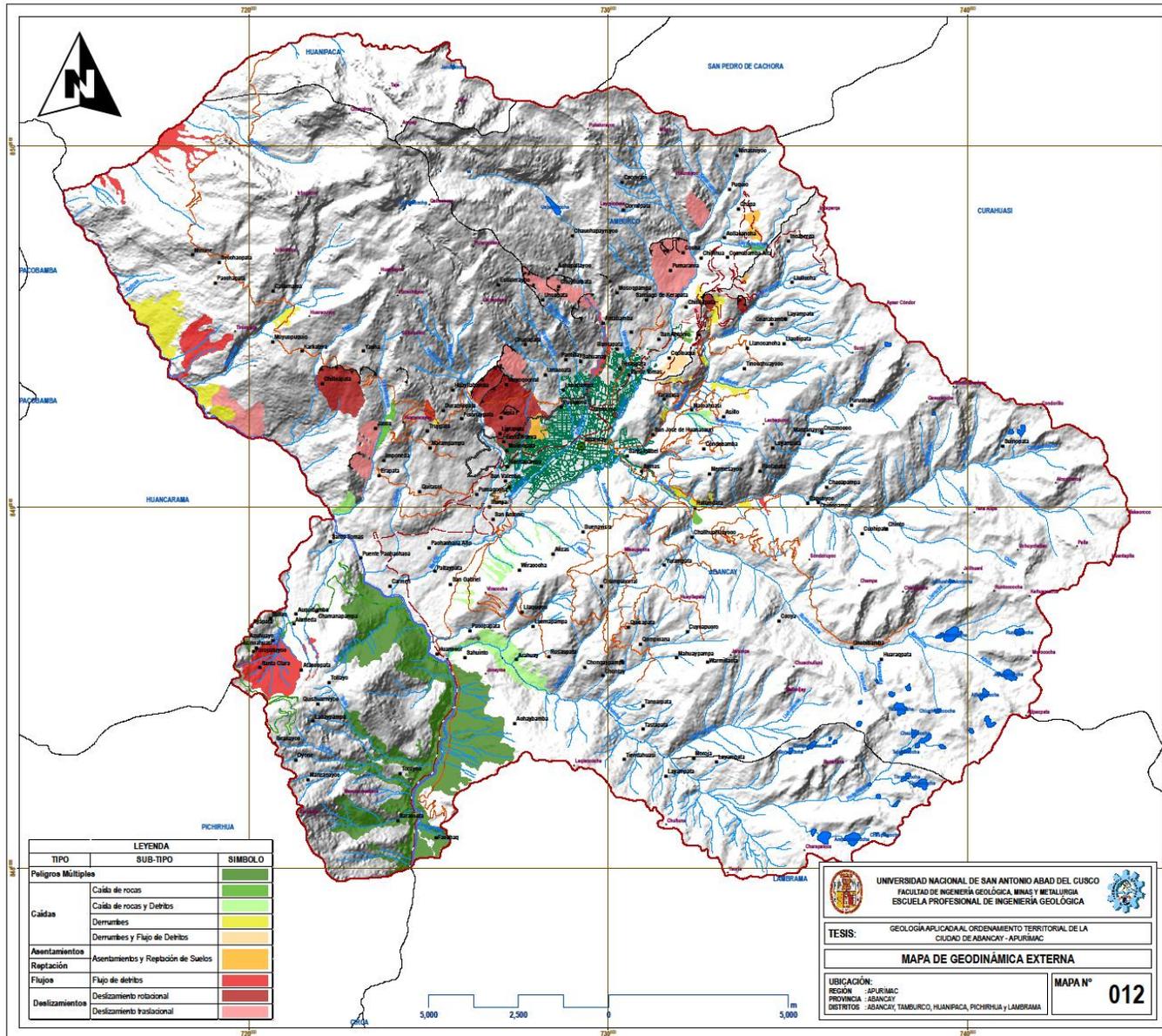
Foto 099 (Izquierda): Zona de arranque de la Avalancha de Detritos del Sahuanay, y posterior desplazamiento de los materiales del movimiento en masa. Foto 100 (Derecha): Puentes y viviendas que estrechan el cauce del río Sahuanay.



Foto 101 (Izquierda): Los círculos en líneas rojas entrecortadas, muestran los afloramientos de aguas en la zona de arranque de la Avalancha, en el sector Chyllurpata. Foto 102 (Derecha): Material transportado por la Avalancha de detritos en el Estadio de Maucacalle, el cual en ese momento se encontraba en construcción.

CLASE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD	VALORES TÍPICOS	DAÑOS PROBABLES
7	Extremadamente rápido	$5 \times 10^3$	5 m/s	Violento y catastrófico. Destrucción de edificios por impacto de la masa deslizada. Número elevado de muertos.
6	Muy rápido			Es difícil escapar. Algunos muertos. Destrucción de edificios y estructuras.
5	Rápido	$5 \times 10^1$	3 m/min	Es posible escapar. Destrucción de edificios y estructuras.
4	Moderado	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/h	Algunas estructuras pueden mantenerse temporalmente.
3	Lento	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes	Pueden aplicarse medidas correctoras. Las estructuras y edificios pueden mantenerse.
2	Muy lento	$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/año	Las estructuras permanentes no resultan dañadas en general.
1	Extremadamente lento	$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año	Imperceptible si no es con instrumentación. Es posible la construcción con precauciones.

Tabla 053: Escala de velocidad de los movimientos de ladera. Fuente: "Deslizamientos: Análisis geotécnico - Jaime Suárez".



UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL



REFERENCIA

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Cartas Geológicas Nacionales INEGI/MIET 1/100 000  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/70 000

Mapa: Mapa de Geodinámica Externa  
Código de Mapa: MGEX

Elaboración y Diseño de Mapa:  
Bach. Salazar Gutiérrez, Esau

Fecha: Octubre del 2018  
Fuente: Elaboración Propia

SIMBOLOGÍA

- Capital Departamental
  - Capital Distrital
  - Poblados
  - Límite Distrital
  - Cerros
  - Área de Estudio
  - Red Hidrográfica
  - Lagunas
  - Catastro Urbano
  - Escapas de Deslizamiento
- RED VIAL**
- Via Nacional
  - Via Regional
  - Via Vecinal o Rural
  - Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

**MAPA DE GEODINÁMICA EXTERNA**

UBICACIÓN:  
REGION : APURÍMAC  
PROVINCIA : ABANCAY  
DISTRITOS : ABANCAY, TAMBUROCO, HUANCAPICA, PICHIRHUA Y LAMBARAMA

MAPA N° **012**



## CAPÍTULO VII GEOTECNIA

Las amenazas que plantea la naturaleza a las zonas de ocupación humana son muy diversas y éstas dependen de las características topográficas, geológicas, geotécnicas e hidrológicas del sector. El presente capítulo, está más centrada en el área urbana de la ciudad de Abancay; del cual se ha recopilado información relacionado a los ensayos de laboratorio sobre suelos, de los diversos proyectos y/o estudios que se han realizado en la ciudad de Abancay. Además de dichos datos, se tomó mucho en consideración para las proyecciones en el Mapa geotécnico (Mapa 013) los taludes existentes en el área urbana, ya sea de carreteras, construcción de viviendas y taludes naturales.

La ciudad de Abancay se encuentra emplazado en una zona con pendiente ligeramente inclinada a moderadamente inclinada, donde las rocas aflorantes se encuentran en un estado avanzado de fracturamiento y meteorización, sin embargo son la potencia de los suelos, los que tienen mayor presencia a nivel de toda el área urbana de la ciudad, los mismos que responden a suelos aluviales, fluviales, coluviales y coluvioaluviales, sin embargo, su constitución tiene orígenes fluvioglaciales, especialmente en el sector norte y nor-oeste de la ciudad.

Debido a la presencia del Nevado del Ampay, la microcuenca del mariño, que es donde se encuentra emplazada la ciudad de Abancay, presenta gran cantidad de quebradas y ríos que son afluentes del río Mariño, que a su vez es el afluente del Pachachaca. Entonces sumado a la distancia entre el Nevado del Ampay, el cual es un complejo estructural a nivel de los andes peruanos; y la ciudad de Abancay, la microcuenca históricamente ha sido dominio de los cursos hídricos, formando quebradas y modelando el terreno de forma muy accidentada, hasta que la invasión urbana terminó ocupando muchos de esas zonas de quebradas y sus respectivas fajas marginales. Ante esta realidad se hace evidente que las principales amenazas sobre los distintos sectores de la ciudad de Abancay, están asociados al comportamiento geotécnico de los suelos y rocas que conforman el subsuelo.

### 7.1. MAPA GEOTÉCNICO

Para la elaboración del mapa geotécnico, se tomó en consideración los datos de clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS, y la capacidad portante de los suelos de las informaciones recopiladas, además de las observaciones en campo de los diferentes taludes, para realizar las correcciones y proyecciones en el mencionado mapa.

#### 7.1.1. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA RECOPIADA

La información geotécnica contenida en los diversos estudios y proyectos que se ejecutaron en la ciudad de Abancay, y recopilada para el desarrollo del presente capítulo de nuestro estudio se enumera a continuación:

- Pavimentación de la calles de Patibamba Alta - DRTC Apurímac, 1999.
- Mapa de Peligros de la Ciudad de Abancay - INDECI-PNUD 2002.
- Pavimentación de la Av. Panamericana-Bellavista Baja - DRTC Apurímac, 2003.
- Pavimentación de la APV Isidro Sala Rivera - DRTC Apurímac, 2003.
- Vía de Evitamiento - DRTC Apurímac, 2003.

- Condominio San Rafael - PRAXIS VALMAR Ingenieros, 2003.
- Pavimentación de la Av. 09 de Octubre-La Cultura - DRTC Apurímac, 2004.
- Mercado Central de Abancay - VALMAR Ingenieros SRL, 2004.
- Pabellón de Aulas Generales de la UNAMBA - C. Fernández Baca, 2004.
- Ampliación de la Infraestructura del Gobierno Regional de Apurímac - L. A. Benites, 2005.
- Estadio Condebamba - DRTC Apurímac, 2005.
- CEP Villa Gloria - DRTC Apurímac, 2006.
- Mejoramiento del acceso de la población Materno Infantil a los servicios que brinda el Centro de Salud Pueblo Joven Centenario, categoría I-4, del distrito y provincia de Abancay; Apurímac, 2014.
- Mejoramiento del Servicio Educativo en las Instituciones Educativas del Nivel Primario: IEP N°54046 de Huayllabamba, IEP N°54905 Sur América de Illanya, IEP N°54873 Nuestra Señora de Guadalupe, IEP N°54075 Raúl Luna Cordero, IEP N°54041 de Puca Puca, IEP N°54904 de Bancapata, IEP N°54560 de Pachachaca, IEP N°54036 Señor de la Exaltación; del distrito de Tamburco y Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac; 2014.
- Mejoramiento del Servicio Educativo del Nivel Inicial de la IEI N°04 Nuestra Señora de Guadalupe del distrito de Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac; 2015.
- Construcción y Mejoramiento del Sistema de Encauzamiento de los riachuelos de San Luis y José María Arguedas, del Centro Poblado de Las Américas, del distrito y provincia de Abancay, región Apurímac; 2015.
- Mejoramiento de la Transitabilidad vehicular y peatonal del Pasaje Buenos Aires de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, Apurímac; 2016.
- Construcción de Muro de Contención en la Av. Brilla El Sol, de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, Apurímac; 2016.
- Mejoramiento del Servicio de Educación Básica Especial N°01 Beato Pierre Francois J., de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, Apurímac; 2016.
- Mejoramiento y Ampliación de Servicio Educativo de la IE Integrada La Salle de Abancay, distrito de Abancay, provincia de Abancay, Apurímac; 2017.
- Mejoramiento de los servicios de Gestión de Riesgo y Emergencias del Centro de Operaciones de Emergencia Regional, en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región Apurímac; 2017.
- Unidad de Gestión Educativa Local de Abancay (UGEL - Abancay), del distrito y provincia de Abancay, región Apurímac; 2018.
- Excavación y Muestreo de suelos, realizados por la Municipalidad de Abancay.
- Excavación y muestreo de suelos, realizados por el Laboratorio de Suelos de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones, del Gobierno Regional de Apurímac.
- Excavación y muestreo de suelos, realizados por el Laboratorio de Suelos y Concreto JFA Constructores Ejecutores Contratistas Generales SAC.
- Excavación y muestreo de suelos, realizados por el Laboratorio de Suelos y Concreto LUTCONS SAC.

### 7.1.2. DESCRIPCIÓN DE TALUDES Y CORTES

La ciudad de Abancay se asienta sobre una ladera con pendiente ligeramente inclinada a moderada, por lo que muchos de las vías de acceso y construcción de viviendas, presentan cortes de gran altura, que muestran visiblemente el perfil geotécnico del suelo. Para poder realizar la descripción de los puntos donde se evidencian claramente los cortes en el terreno, se programó los puntos de interés de acuerdo al espaciamiento de los mismos y con el objetivo de realizar las proyecciones geotécnicas en el mapa geotécnico.



### 7.1.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

De acuerdo a las calicatas de los proyectos y estudios que se recopilaron, de cada una de ellas se toma como suelo representativo a aquel que se encuentra ubicado dentro de la zona activa para el diseño de la cimentación típica. La cimentación típica ha sido asumida como zapatas aisladas cuadradas de 1m de lado, cimentadas a 1m de profundidad, por lo que la zona activa que se encuentra entre la base de la cimentación y un nivel, es a 2 veces el ancho de la cimentación por debajo de la misma. De acuerdo a estos criterios el suelo representativo de cada sector estaría conformado por el material ubicado entre 1m y 3m de profundidad. Se ha considerado para el presente Estudio el material predominante o más crítico hallado entre 1m - 3m de profundidad de cada punto.

Para la elaboración del mapa geotécnico que consiste en los tipos de suelos (Tabla 054), se ha recurrido a realizar una serie de simplificaciones a los sistemas de clasificación existentes, hasta lograr un número de tipos de suelos razonables para su interpretación en un mapa temático.

Para homogenizar la información recopilada, se ha utilizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como se observa en la tabla 056, el cual es un sistema usado en la ingeniería para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. También se le denomina Clasificación Modificada de Casagrande.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
PRIMERA Y/O SEGUNDA LETRA		SEGUNDA LETRA	
G	Grava	P	Pobrememente graduado (Tamaño de partícula uniforme)
S	Arena		
M	Limo	W	Bien graduado (Tamaño de partículas diversos)
C	Arcilla	H	Alta plasticidad
O	Orgánico	L	Baja plasticidad

Tabla 054: Simbologías para la clasificación de suelos mediante SUCS. Fuente: [www.cbrplusllc.com](http://www.cbrplusllc.com).

La mayoría de datos obtenidos sobre los ensayos de suelos, a partir de los diversos proyectos y estudios anteriormente ya descritos, se basan en las siguientes normas que a continuación enumeramos (Tabla 055):

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Contenido de Humedad	ASTM D 2216
Granulometría	ASTM D 421 y D 422
Límite Líquido	ASTM D 4318
Límite Plástico	ASTM D 4318
Densidad In Situ	ASTM D 1556
Consolidación	ASTM D 2435
Compresión No Confinada	ASTM D 2166
Corte Directo	ASTM D 3080
Ensayos de Penetración PDL	DIN 4094

Tabla 055: Tipos de ensayo y normatividad regente en los diversos datos recopilados para el presente capítulo. Fuente: Elaboración Propia.

SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRE DEL GRUPO	DIVISIONES MAYORES		
GW	Grava bien graduada, grava fina a gruesa	Grava limpia, menos del 5% pasa el tamiz N°200	Grava. >50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4 (4.75 mm)	Suelos granulares gruesos. Más del 50% retenido en el tamiz N°200 (0.075 mm)
GP	Grava pobremente graduada			
GM	Grava limosa	Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz N°200		
GC	Grava arcillosa			
SW	Arena bien graduada, arena fina a gruesa	Arena limpia	Arena. ≥50% de fracción gruesa que pasa por el tamiz N°4	
SP	Arena pobremente graduada			
SM	Arena limosa	Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz N°200		
SC	Arena arcillosa			
ML	Limo	Inorgánico	Limos y arcillas. Límite líquido <50	Suelos de grano fino. Más del 50% pasa por el tamiz N°200
CL	Arcilla			
OL	Limo orgánico, arcilla orgánica	Orgánico		
MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico	Inorgánico	Limos y arcillas. Límite líquido ≥50	
CH	Arcilla de alta plasticidad			
OH	Arcilla orgánica, limo orgánico	Orgánico		
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos		

Tabla 056: Clasificación de suelos, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Fuente: www.cbrplusllc.com.

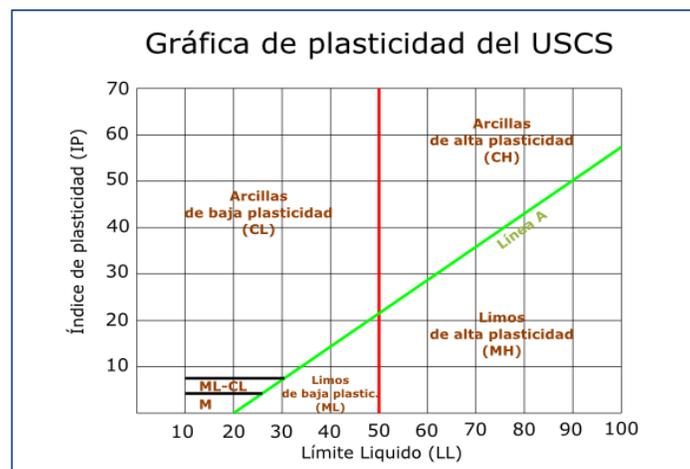


Gráfico 054: Gráfica para determinar los tipos de suelos finos de acuerdo al Límite Líquido y el Índice de Plasticidad de dichos materiales, basado en el SUCS. Fuente: www.cbrplusllc.com.

Para fines de sectorizar el área de la ciudad en los tipos de suelos mediante SUCS, resulta que dicho sistema posee demasiados tipos de suelos, producto de la combinación de las letras que se indica en las tablas anteriores, por lo que se ha reducido a 5 los tipos de suelos (Tabla 0579) y han sido complementados con el símbolo de roca y relleno del modo siguiente:

SÍMBOLO	SÓMBOLOS INCLUIDOS	DESCRIPCIÓN
G	GW, GP, GM, GC, GP-GM, ..., etc.	Gravas
S	SW, SP, SM, SC, SP-SM, SP-SC, SW-SP, SW-SC	Arenas
C	CL, CH, CL-ML	Arcillas
M	ML, MH	Limos
O	OL, OH, Pt	Suelos Orgánicos y Turbas
Rc	Roca	Afloramientos rocosos
Rll	Rellenos	Rellenos artificiales

Tabla 057: Adecuación de símbolos para la elaboración del Mapa de clasificación de suelos. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay - PNUD-INDECI, 2007.

Asimismo, de acuerdo a la tabla anterior, se generaron 7 tipos de materiales geotécnicos, obteniéndose formas caóticas en el mapa preliminar geotécnico. Por lo que se decidió sintetizar la clasificación con el objetivo de desarrollar el Mapa de peligrosidad frente a la geodinámica externa. Así, dicha clasificación se estructuró en 4 tipos de materiales geotécnicos, los mismos que se describen en la tabla 058.

TIPO DE MATERIAL	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Rocas	R	Afloramientos de macizos rocosos
Gravas	G	Suelos en los que predomina la fracción de gravas
Arenas	S	Suelos en los que predomina la fracción de arenas
Suelos finos	F	Suelos en los que predomina la fracción de arcillas y limos

Tabla 058: Clasificación geotécnica del terreno para la elaboración del Mapa geotécnico. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay - PNUD-INDECI, 2007.

Cabe destacar que para esta clasificación se toma el criterio de denominar al suelo de acuerdo al material que predomina en su composición. Por ejemplo, donde en el mapa se indica "S", significa Arena, y en ese sector se puede encontrar arena o mezclas de materiales en los que predominan partículas del tamaño de las arenas, puede tratarse de un material gravoso con finos, pero siempre con una abundante proporción de arena (>50 %). Así el criterio tomado para diferenciarlos es:

- **Roca.** Material sólido rocoso, cuya resistencia es claramente superior a 25 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Grava.** Material conformado por partículas del tamaño mayor a 4.75 mm; y para fines del presente estudio, se incluyen dentro de esta descripción a la bolonería, piedras o bloques grandes.
- **Arena.** Material conformado por partículas mayores a 0.075 mm y menores a 4.47 mm.
- **Finos.** Material conformado por partículas menores a 0.075 mm, incluye a limos y arcillas.

#### 7.1.3.1. SELECCIÓN DE LA NOMECLATURA

- **Primero:** Definir si el material observado es un macizo rocoso, por observación del conjunto de afloramiento, y su resistencia, con un martillo o piedra.

- **Segundo:** Determinar si el material es granular o fino, en base al porcentaje de material que pasa la malla N°200 de 0.075 mm. Si el porcentaje que pasa es mayor o igual al 50%, se le denomina como fino (F).
- **Tercero:** Si el porcentaje que pasa es menor al 50%, quiere decir que se trata de grava o arena, para lo cual se debe determinar el porcentaje de grava y el porcentaje de arena. El porcentaje de grava es el retenido en la malla N°4 de 4.75 mm, o el complemento a 100 del porcentaje que pasa dicha malla. El porcentaje de arena es el complemento a 100 de la suma de los porcentajes de finos y gravas.
- **Cuarto:** El suelo tomará la denominación de grava o arena comparando los porcentajes respectivos entre sí.

### 7.1.3.2. TIPOS DE SUELO DE LA CIUDAD DE ABANCAY

Producto de los datos recopilados, extensamente analizados y adaptados para la elaboración de un mapa de tipos de suelo (Mapa geotécnico) menos confuso; se ha diseñado dicho mapa de forma manual y no automática, debido a que en algunos casos la ubicación de las calicatas y en consecuencia los tipos de suelos, resultan en polígonos que no describen el tipo de suelo predominante de la zona; por lo que mediante el análisis manual se pudo discriminar dichos puntos pasando por un razonamiento asistido por observaciones de tipos de suelo en campo.

En la tabla 059, se enumeran las calicatas recopiladas de los diferentes proyectos, donde se incluye datos de tipos de suelo, profundidad de la calicata, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y el porcentaje de humedad contenido. Dichos puntos se encuentran ploteados en el gráfico 055.

RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO						
N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
1	SM-SC	3.00	21.77	17.00	6.17	9.00
2	GM-GC	2.30	24.61	14.00	4.84	12.08
3	GM	2.50	21.29	-	-	8.08
4	GC-GM	2.50	19.87	13.75	6.12	13.67
5	GC-GM	2.50	18.98	13.21	5.77	13.20
6	GC-GM	2.50	19.46	13.02	6.44	12.93
7	GM	2.25	19.91	16.77	3.14	8.14
8	GM-GC	2.50	19.30	16.70	3.10	10.20
9	GM	2.50	18.98	15.00	3.05	9.36
10	GC-GM	1.80	22.03	17.00	5.10	10.60
11	GC-GM	2.00	21.89	16.00	5.00	9.49
12	GM	1.70	23.50	20.40	3.10	13.10
13	GC-GM	1.80	19.80	13.80	6.00	9.44
14	GP-GM	1.00	19.70	0.00	0.00	9.44
15	GM	1.70	40.60	29.40	11.20	13.58
16	GC-GM	1.50	21.20	16.20	5.00	7.22
17	GM	1.50	0.00	0.00	0.00	5.89
18	GC-GM	1.50	27.90	21.80	6.10	9.23
19	GC-GM	2.00	21.30	16.80	4.50	1.40
20	GC-GM	2.10	22.00	17.10	4.90	12.29



N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
21	GC	3.00	29.80	21.90	7.90	14.02
22	GC	3.00	25.70	14.50	11.20	13.81
23	GC	1.50	33.00	23.00	10.00	14.40
24	GC	1.50	32.00	22.00	10.00	7.62
25	SM	2.00	40.00	28.00	12.00	15.86
26	GM	1.80	23.00	17.00	6.00	5.80
27	GM	2.00	21.00	16.00	5.00	6.10
28	GM	2.00	36.00	26.00	10.00	9.00
29	GM	2.00	35.00	25.00	10.00	8.50
30	GM	2.00	24.00	14.00	10.00	9.90
31	GM	2.50	34.00	12.00	2.00	8.90
32	GC-GM	1.80	23.00	19.00	4.00	7.10
33	GM	1.80	21.00	18.00	3.00	9.00
34	GM	1.80	26.00	22.00	4.00	7.80
35	SM	1.80	-	-	-	11.50
36	SP-SM	1.80	-	-	-	11.80
37	SM	2.00	28.00	23.00	6.00	8.36
38	GM	2.00	28.00	27.00	2.00	8.61
39	SM	2.00	25.00	20.00	8.00	9.90
40	GM	1.50	29.00	27.00	2.00	10.37
41	GM	1.50	23.00	20.00	3.00	10.12
42	SC-SM	1.50	18.00	11.00	6.00	10.98
43	GC-GM	1.50	27.00	21.00	6.00	11.90
44	ML	1.50	36.00	26.00	10.00	12.78
45	CL	1.50	32.00	22.00	10.00	15.81
46	CL-ML	1.50	23.00	17.00	6.00	14.23
47	SC	1.50	28.00	19.00	8.00	10.20
48	SC	1.50	33.00	19.00	14.00	9.26
49	CL	1.50	27.00	11.00	16.00	16.98
50	GM	1.50	44.00	43.00	1.00	10.27
51	GM	1.50	44.00	38.00	6.00	13.37
52	GC-GM	1.50	26.00	22.00	5.00	13.01
53	GC-GM	1.50	17.00	11.00	6.00	13.65
54	GM	1.50	30.00	26.00	4.00	13.11
55	GM	1.50	28.00	25.00	3.00	13.10
56	GM	1.50	37.00	33.00	5.00	13.80
57	CL	1.50	31.00	22.00	9.00	13.99
58	GM	1.50	31.00	25.00	6.00	12.31
59	SC-SM	1.50	18.00	11.00	6.00	16.98
60	GC-GM	2.50	23.39	17.38	6.01	7.34
61	GP	2.50	-	-	-	5.70
62	SC-SM	2.50	18.57	12.45	6.13	5.50
63	GM	4.50	18.45	17.40	1.05	7.67
64	SM	4.50	20.08	17.95	2.13	7.12
65	ML	4.50	15.67	15.40	0.27	6.48
66	ML	4.50	28.90	22.45	6.45	6.67
67	GM	4.50	19.55	18.64	0.91	6.20



N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
68	GC-GM	3.00	28.13	23.48	4.65	16.78
69	SC-SM	3.00	27.56	21.53	6.03	14.29
70	SC	3.00	37.47	28.79	8.68	23.79
71	CL	2.50	30.40	19.60	10.80	19.30
72	SC	3.50	25.46	18.36	7.10	15.01
73	SC	3.50	26.22	17.48	8.74	17.67
74	GC	3.50	24.45	16.51	7.94	15.41
75	SC	2.50	21.91	17.30	8.78	12.02
76	SC	2.50	23.57	17.20	7.08	9.79
77	GC	2.50	19.52	15.60	4.55	
78	GC	2.50	15.51	13.21	5.53	4.22
79	SC	2.50	19.88	12.23	6.09	
80	CL	2.50	26.22	16.50	9.13	
81	SC	2.50	22.82	15.30	10.43	11.38
82	SC	2.50	15.77	10.80	4.81	
83	GC	2.50	19.80	10.35	7.06	6.04
84	GC	2.50	13.55	8.35	5.47	5.76
85	CL	1.80	13.27	12.68	4.00	8.09
86	SC	1.80	20.43	17.66	3.78	6.43
87	CL	1.80	18.87	16.63	5.67	8.30
88	GC	1.80	19.06	10.83	5.31	
89	SW-SC	1.80	20.67	13.56	4.40	
90	GC	1.80	25.17	12.35	6.65	8.16
91	GC	1.80	21.87	11.24	9.06	
92	GC	1.80	21.22	10.57	7.14	6.14
93	GC	1.80	28.27	13.62	6.33	
94	GW-GC	1.80	17.83	14.32	9.11	
95	GC	2.00				
96	GC	2.00	24.63	16.23	6.56	
97	GC	2.00	21.19	15.24	6.27	
98	GC	2.00	23.15	17.23	5.58	
99	GC	2.00	28.08	18.27	7.43	7.35
100	GC	2.00	16.30	10.38	3.56	6.64
101	GC	2.00	19.08	11.24	6.08	4.57
102	GC	2.00	22.68	16.32	7.91	
103	GC	2.00	26.92	18.24	8.28	4.39
104	SC	2.00	13.25	8.36	0.85	
105	GM	2.00	-	-	-	
106	GM	2.00	-	-	-	6.77
107	GC	2.00	19.25	12.34	2.53	
108	GC	2.00	21.55	16.82	5.49	10.50
109	SC	2.00	29.42	19.24	7.99	9.91
110	SC	2.00	25.74	18.46	10.06	16.03
111	GC	2.00	16.95	12.38	2.36	
112	SC	2.00	18.99	11.48	3.76	17.24
113	GP-GC	2.00	21.68	14.35	4.14	8.94
114	SC	2.00	15.89	9.15	4.29	12.18



N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
115	SC	2.50				10.16
116	CL	2.50	24.91	18.46	8.08	
117	SC	2.50	23.39	14.23	5.66	4.65
118	GC	2.50	20.74	12.42	5.97	
119	GC	2.50	22.63	13.84	6.86	
120	GC	2.50	19.16	12.34	4.72	
121	GC	2.50	22.39	16.46	5.49	18.14
122	GC	2.50	16.11	11.82	2.19	
123	GC	2.50	12.77	6.32	3.09	
124	GC	2.50	14.21	7.42	3.18	
125	SC	2.50	20.27	10.24	6.92	6.77
126	GC	2.50	15.83	8.23	2.31	
127	SM	2.50	-	-	-	
128	GC	2.50	23.74	14.23	7.21	7.19
129	GC	2.50	21.55	12.84	6.59	
130	GC	2.50	24.07	15.64	6.19	
131	GC	2.50	14.84	7.46	2.69	
132	CL	2.50	23.98	15.22	9.15	11.81
133	SC	2.50	15.94	6.21	5.11	
134	SC	2.50	18.26	7.22	5.30	11.96
135	GM	1.80	-	-	-	
136	SC	1.80	17.30	8.12	4.00	6.33
137	GC	1.80	19.21	12.35	4.25	
138	GC	1.80	21.73	8.24	4.79	
139	SC	1.80	21.85	12.34	8.47	4.65
140	GC	1.80	22.71	10.24	6.88	13.33
141	GC	1.80	16.21	12.32	5.72	
142	GC	1.80	19.71	8.14	4.05	6.65
143	GC	1.80	21.29	7.24	4.19	
144	SC	1.80	20.75	16.24	4.83	16.26
145	SC	2.80	28.36	17.23	6.82	17.09
146	SC	2.80	27.05	16.45	6.74	19.89
147	GC	2.80	25.33	14.24	7.57	
148	GC	2.80	25.64	13.27	7.52	
149	GC	2.80	20.79	16.84	5.79	4.17
150	GC	2.80	26.01	17.46	9.78	11.38
151	SC	2.80	21.71	14.25	5.97	6.33
152	GC	2.80	21.31	12.35	6.01	15.87
153	SC	2.80	31.03	20.17	8.14	
154	GC	2.80	25.42	16.37	6.94	5.91
155	SW-SC	3.00	22.00	16.00	6.00	15.00
156	CL	2.00	30.00	20.00	10.00	8.40
157	SM	3.00	22.00	16.00	6.00	15.30
158	SC	1.50	26.00	17.00	9.00	10.00
159	SM-SC	2.20	21.00	15.00	6.00	11.50
160	CL-ML	3.00	20.00	14.00	6.00	21.30
161	SC	1.50	30.00	23.00	7.00	13.50



N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
162	SC	1.50	26.00	18.00	8.00	14.20
163	SW-SC	1.50	26.00	-	-	2.60
164	ML	1.50	44.00	28.00	16.00	1.50
165	SW-SC	1.50	29.00	20.00	9.00	9.60
166	SM	1.50	21.00	18.00	3.00	7.20
167	CL	1.50	32.00	19.00	13.00	7.20
168	SM	1.50	21.00	19.00	2.00	7.20
169	SC	1.50	31.00	21.00	10.00	6.20
170	SW-SC	1.50	26.00	-	-	3.70
171	SC-SM	1.50	27.00	21.00	6.00	2.10
172	CL	3.00	30.00	21.00	9.00	10.00
173	CL	3.00	37.00	23.00	14.00	6.80
174	CL	3.00	34.00	18.00	16.00	11.00
175	CL	1.50	32.00	20.00	12.00	7.6
176	SP	1.30	-	-	-	4.00
177	CL	3.00	32.00	20.00	12.00	10.00
178	GC	1.70	31.00	20.00	11.00	9.00
179	SC	3.00	28.00	10.00	18.00	13.00
180	GC	1.50	30.00	21.00	9.00	3.50
181	SC	1.50	29.00	19.00	10.00	6.10
182	GW-GC	1.50	21.00	19.00	2.00	2.70
183	CL	1.50	34.00	3.00	31.00	1.50
184	CL	1.50	47.00	27.00	20.00	11.30
185	GC	1.50	26.00	17.00	9.00	2.00
186	GC	1.50	31.00	20.00	11.00	16.30
187	CL	3.00	31.00	18.00	13.00	2.00
188	GC	2.30	29.00	19.00	10.00	8.00
189	SP	3.00	36.00	22.00	14.00	6.80
190	CL	2.60	33.00	20.00	13.00	9.00
191	GP-GC	1.50	27.00	24.00	3.00	8.40
192	CL	1.50	31.00	20.00	11.00	16.30
193	SM	1.50	36.00	26.00	10.00	6.30
194	CL	2.20	22.00	16.00	6.00	7.00
195	CL	3.00	38.00	20.00	18.00	6.00
196	CL-ML	2.40	22.00	16.00	6.00	10.00
197	CL	3.00	49.00	24.00	25.00	11.00
198	CL	2.50	43.00	22.00	21.00	10.00
199	CH	3.00	53.00	33.00	20.00	8.00
200	GC	1.50	31.00	20.00	11.00	12.70
201	SM	1.50	41.00	27.00	14.00	13.00
202	SM	1.50	-	-	-	9.00
203	CL	1.50	39.00	22.00	17.00	11.90
204	GC	1.20	32.00	21.00	11.00	5.00
205	GP	1.50	-	-	-	5.50
206	GP-GM	1.50	-	-	-	1.40
207	GW-GC	1.30	28.00	22.00	6.00	6.80
208	GC	1.20	30.00	19.00	11.00	2.00

N°	SUCS	PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HUMEDAD (%)
209	GC	1.00	31.00	19.00	12.00	8.00
210	CL	1.50	30.00	21.00	9.00	13.40
211	SC	1.50	29.00	19.00	10.00	6.10
212	SC	1.50	28.00	20.00	8.00	9.20
213	SC	1.50	32.00	23.00	9.00	4.50
214	CL	1.50	46.00	25.00	21.00	1.50
215	GC	1.50	31.00	20.00	11.00	4.50
216	GC	1.50	32.00	13.00	19.00	2.00
217	GC	1.50	30.00	20.00	10.00	1.00
218	GM	1.50	32.00	24.00	8.00	5.50
219	GC	1.50	28.00	17.00	11.00	4.90
220	SC	1.50	32.00	19.00	13.00	8.90
221	GC	1.50	24.00	17.00	7.00	9.70
222	SM	1.50	-	-	-	1.30
223	SC	1.50	25.00	17.00	8.00	0.10
224	SC	1.50	32.00	21.00	11.00	7.00
225	CL	1.50	37.00	21.00	16.00	1.00
226	CL	1.50	38.00	19.00	19.00	2.00
227	GC	1.50	30.00	19.00	11.00	5.00
228	GC-GM	1.50	25.00	18.00	7.00	6.20
229	CL	1.50	38.00	23.00	15.00	1.60
230	SC	1.50	33.00	21.00	12.00	11.00
231	CL	1.20	32.00	18.00	14.00	0.50
232	SC-SM	1.50	26.00	20.00	6.00	6.10
233	SC	1.50	31.00	23.00	8.00	3.20
234	GP	1.50	-	-	-	1.00

Tabla 059: Resumen de los ensayos de laboratorio de suelos de los diversos proyectos recopilados. Fuente: Elaboración Propia.

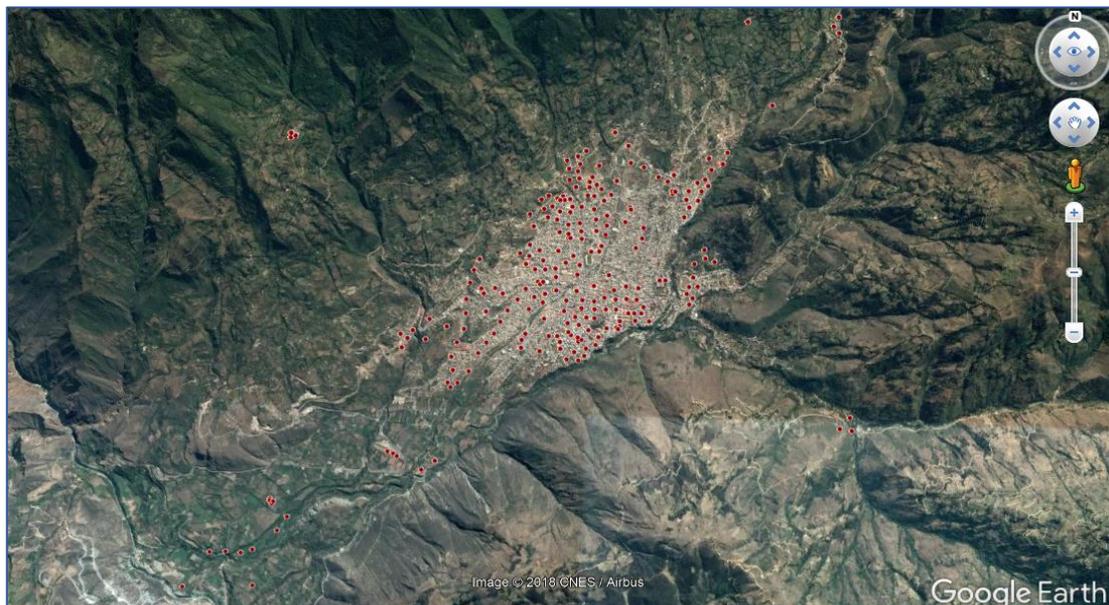


Gráfico 055: Ubicación de calicatas (puntos rojos) recopiladas de los diversos estudios. Fuente: Elaboración Propia.

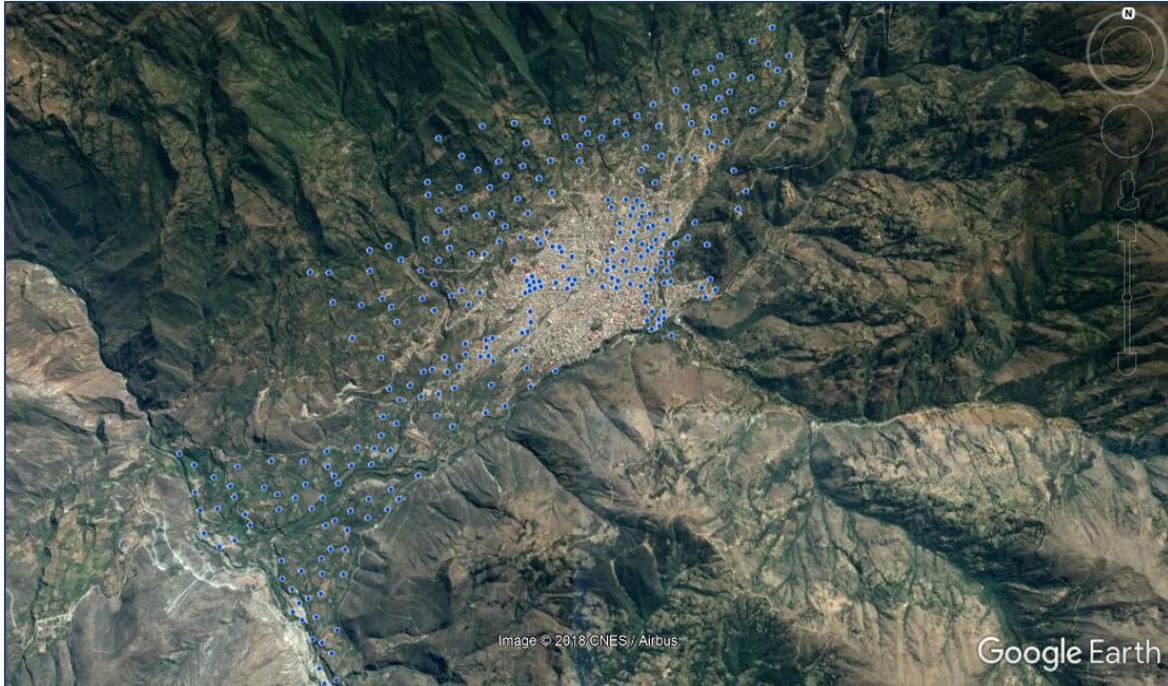


Gráfico 056: Ubicación de taludes, cortes de carretera y suelos observados in situ (puntos azules). Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla y gráfico anteriores, y de acuerdo a la clasificación de suelos recopilada en la tabla 059, a continuación, se describen los tipos de materiales geotécnicos hallados en la ciudad de Abancay:

- a) **SUELOS FINOS.** Se agrupa bajo esta denominación a los suelos en los que predominan las arcillas y limos, resaltando que los más frecuentes a nivel de la ciudad son los suelos limosos, en tanto en las zonas periféricas, los predominantes son los suelos arcillosos. En general a nivel de gran parte del casco urbano de la ciudad, estos suelos tienen una coloración grisácea, y se presenta con gravas en el área central de la ciudad, pero hacia el sector norte (Foto 103), nor-este (Foto 104) y nor-oeste, presenta una coloración rojiza y amarillenta con mayor plasticidad; en tanto hacia el sur-oeste de la ciudad, los suelos presentan una coloración rojiza a amarillenta con presencia de arena fina. Estos suelos se han cartografiado en forma de intrusiones alargadas con respecto al material gravoso predominante en la ciudad.



Foto 103 (Izquierda): Suelo limoso rojizo en el sector de Veronicayoc. Foto 104 (Derecha): Suelo limoarcilloso en el sector de San Antonio, al nor-este de la ciudad.

Los suelos finos son poco frecuentes en el área urbana de la ciudad de Abancay, siendo restringidos sólo a determinados sectores; sin embargo, su presencia aumenta en áreas periféricas, como en los sectores de la vía de evitamiento (Foto 105), Leompampa, Puca Puca, Umaccata, San Antonio y como punto muy relevante, en el barrio Fonavi (Foto 106).



Foto 105 (Izquierda): Suelos limoarcillosos en el sector de la vía de Evitamiento. Foto 106 (Derecha): Suelos limoarcillosos de coloración rojiza en el sector de Fonavi y la Vía de Evitamiento.

- b) **SUELOS ARENOSOS.** Los materiales arenosos con finos de coloración rojiza abundan en los sectores periféricos de la ciudad, en especial en la zona norte y oeste. Estos materiales en estado húmedo o en épocas de precipitación pueden confundirse con arcillas, puesto que tienen una textura fina y permiten excavaciones verticales, pero al secar o saturarse pierden su pseudo-cohesión (debida a la succión matricial) y se desmoronan.

De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio de las calicatas recopiladas, se llegaron a cartografiar suelos arenosos con mayor presencia en los sectores de Antabamba Baja, Peraspata, Condebamba (Foto 108) y una superficie considerable del casco urbano del distrito de Tamburco; asimismo, este tipo de suelos también se presentan en los sectores de Pueblo Joven, Puca Puca, Limapata, Molinopata (Foto 109) y Huertapampa; que se encuentran en el lado norte y nor-oeste de la ciudad; los últimos tres sectores, en el área de influencia directa de la quebrada Ñacchero, que se extiende hasta los sectores de Quitasol y Matampampa.



Foto 107 (Izquierda): Suelo arenolimoso en el sector de Fonavi. Foto 108 (Derecha): Suelo arenolimoso a limoarcilloso de coloración amarillenta, en el sector del estadio Condebamba.



Foto 109 (Izquierda): Coloración rojiza típica de los areno-arcillosos a limosos en el sector de Limapata y Molinopata. Foto 110 (Derecha): Suelos areno-gravosos en el sector de Maucacalle.

- c) **SUELOS GRAVOSOS.** Presentan por lo general piedras grandes y bolonería conformada por fragmentos de roca, ya sea de calizas, areniscas, lutitas o de rocas ígneas. Los fragmentos rocosos son bastante duros y resistentes, los materiales finos presentan cierto grado de cementación por las soluciones calcáreas productos de la disolución de las calizas del Copacabana, dichos materiales son conocidos por la población Abanquina como “Caliche”. En algunos sectores, la grava es de origen coluvial y aluvial, especialmente en los sectores donde abundan los paleocauces, que se presentan en franjas de materiales con menos proporción de finos. En el sector sur-oeste (Foto 114) de la ciudad, las gravas son predominantemente ortognésicas y areniscosas. Estos materiales identificados son de alta resistencia y bastante competentes para cimentaciones.

Es el tipo de suelo predominante en la ciudad de Abancay, debido principalmente que, el área donde se ha emplazado la ciudad, en el pasado fue testigo de una fuerte actividad geodinámica e hídrica por lo que es común encontrar materiales arrastrados por los muchos deslizamientos que se dieron en el lugar, así como huaycos, inundaciones y caídas de rocas, por lo que los materiales predominantes son gravas, grandes fragmentos de rocas y bolonería con una matriz arenosa a limoarcillosa (Foto 111), la cual a su vez es cementada por los fluidos calcáreos productos de la disolución de las calizas que afloran al norte de la ciudad.



Foto 111 (Izquierda): Suelos gravosos con una matriz arenosa, en el sector de la Prolongación de la Av. Garcilaso con la quebrada Ccolcaqui. Foto 112 (Derecha): Suelo gravoso de coloración gris en el sector de la quebrada Ñacchero.



Foto 113 (Izquierda): Suelos gravosos a areno-gravosos, en el sector del Pachachaca. Foto 114 (Derecha): Material gravoso, dentro de una matriz limoarcillosa de coloración rojiza en el sector de Illanya.

d) **AFLORAMIENTOS ROCOSOS.** Los afloramientos rocosos a nivel de nuestro estudio se encuentran en los niveles superiores o de mayor altitud respecto a la ciudad de Abancay, los cuales flanquean a dicha ciudad. Como ya lo tratamos en el capítulo de Estratigrafía, Rocas Ígneas y Geología Estructural; hacia el norte y nor-oeste, son predominantes los afloramientos de calizas, areniscas y lutitas; hacia el sur-oeste de la ciudad, podemos encontrar yesos, calizas y margas menos competentes; y hacia el sur, tenemos a los afloramientos ortognésicos bastante intemperizados hacia la superficie y con evidencias de intensa deformación. Los lugares donde podemos observar dichos afloramientos son, en el sector de Santa Isabel (Foto 115), Condebamba (Foto 116) y el flanco oeste del Quisapata.



Foto 115 (Izquierda): Afloramiento de rocas ortognésicas en Santa Isabel, cerca de la confluencia del río Marcahuasi con el río Hatumpata. Foto 116 (Derecha): Rocas granodioríticas-ortognésicas meteorizadas en el sector del Estadio Condebamba.

#### 7.1.4. MAPA DE CAPACIDAD PORTANTE

Existen numerosos indicadores de la resistencia de los suelos, estos son, la resistencia al corte, la resistencia a la penetración dinámica, la capacidad de carga y otros. En el presente proyecto se ha elaborado como elementos de trabajo, diversos mapas temáticos que han servido de referencia para la interpretación final que permita determinar las áreas de peligro. Sin embargo es el esfuerzo



admisible, obtenido como una fracción de la capacidad portante, la variable que ha servido para definir las áreas de peligro ocasionado por suelos inestables para la construcción.

En cimentaciones, se denomina “Capacidad Portante” a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno, tal que no se produzcan una falla por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Así, la capacidad portante por ser una propiedad que depende de los suelos y las cimentaciones; para el presente trabajo ha sido necesario asumir un tipo de cimentación para determinar este parámetro. Los estudios de suelos recopilados son obtenidos a partir de distintos proyectos, por lo que los resultados de capacidad portante que se presentan, obedecen a diferentes criterios. Para sistematizar la información ha sido necesario recopilar los parámetros de resistencia de ángulo de fricción interna y cohesión ( $\Phi$ ,  $c$ ) y el peso específico natural ( $\gamma_N$ ) de cada sitio.

#### 7.1.4.1. CAPACIDAD PORTANTE DE LOS MATERIALES DE LA CIUDAD DE ABANCAY

Desde un punto de vista de la construcción, los suelos se clasifican atendiendo a su integridad y capacidad portante, en rocas, suelos granulares y suelos finos:

- a) **ROCAS.** Se definen a los materiales coherentes que soportan con escasa deformación el peso de las edificaciones. Atendiendo al tipo de rocas, y de modo orientativo, las tensiones admisibles sobre una cota de apoyo de la cimentación se muestran en la tabla 060.

TIPOS Y CONDICIONES ADMISIBLES	Mpa (Kp/cm <sup>2</sup> )
Rocas Ígneas y Metamórficas sanas (Grabito, Diorita, Basalto, Gneis)	10 (100)
Rocas Metamórficas foliadas sanas (Esquistos, Pizarras)	3 (30)
Rocas Sedimentarias sanas (Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados)	1 a 4 (10 a 40)
Rocas arcillosas sanas	0.5 a 1 (5 a 10)
Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0.30 m, excepto rocas arcillosas	1 (10)

Tabla 060: Valores teóricos de tensiones admisibles en diferentes tipos de rocas de acuerdo a su estado estructural. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay - PNUD-INDECI, 2007.

- b) **SUELOS GRAVOSOS.** Con excepción de las gravas pizarrosas, la grava es apropiado para cimentaciones, siempre y cuando en las áreas subyacentes no existan estratos frágiles o blandos, ni esté expuesta a socavación la cimentación. Los suelos gravosos tienen reducida o nula capilaridad; por lo tanto, no es probable que la presencia de agua subterránea, o su humedecimiento, sean causas de disminución de su resistencia ni origen de asentamientos.
- c) **SUELOS ARENOSOS.** Está constituido por materiales en los que el porcentaje de material fino es inferior al 35% en peso. No se puede generalizar el comportamiento y resistencia de las capas de arena, ya que los suelos de esta naturaleza se encuentran en diverso estado de compactación, además de tener variada granulometría. Si las arenas medias y gruesas, son compactas y su granulometría es favorable, tienen apropiada resistencia para sustentar estructuras. No ocurre lo mismo con las arenas muy finas, sobre todo si son sueltas, como es

el caso de las arenas eólicas, donde las capas de arenas son susceptibles a densificarse por efecto de la vibración causada por movimientos sísmicos, pudiendo esperarse, casos como asentamientos de la cimentación e indeseables efectos de carácter estructural.

- d) **SUELOS FINOS.** También están constituidos por materiales detríticos, pero en ellos el porcentaje de finos es superior al 35% en peso. Así cuando se trata de un suelo limoso, relativamente no es plástico y tiene capilaridad elevada. Cuando se encuentra en estado suelto, su resistencia es pequeña. Por otra parte los suelos arcillosos son duros cuando están secos, pero su consolidación se produce lentamente; por lo que cuando es humedecida se torna plástica y deformable, modificando su consistencia según el grado de humedecimiento.

TIPO DE MATERIAL	P (Kg/cm2)
Roca dura y sana (Granito, Basalto)	40
Roca medio dura y sana (Pizarras y Esquistos)	20
Roca blanda o fisurada	7
Conglomerado compacto bien graduado	4
Gravas, mezcla de arena y grava	2*
Arena gruesa, mezcla de arena y grava	2*
Arena fina a media, arena media a gruesa mezclada con limo o arcilla	1.5*
Arena fina, arena media a fina mezclada con limo o arcilla	1.0*
Arcilla inorgánica firme	1.5

Tabla 061: Valores teóricos de esfuerzos admisibles de los diferentes materiales hallados en nuestra área de trabajo. \* Reducir en 50% en el caso de estar bajo el nivel freático. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay - PNUD-INDECI, 2007.

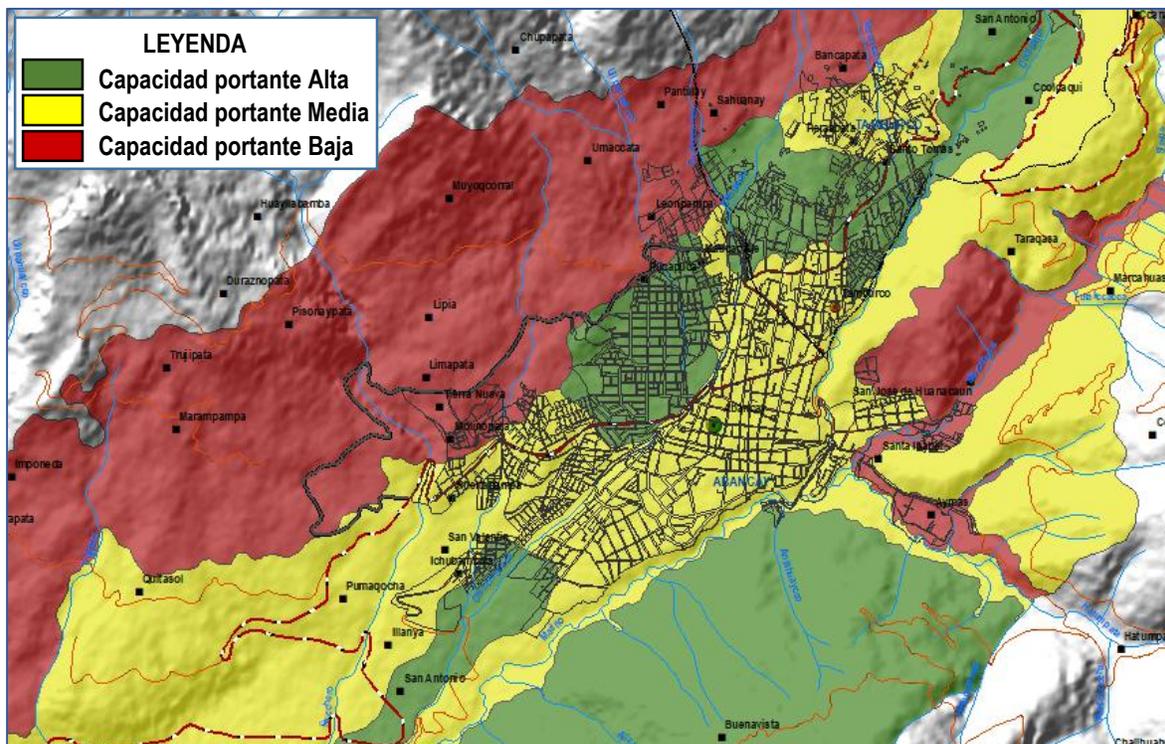
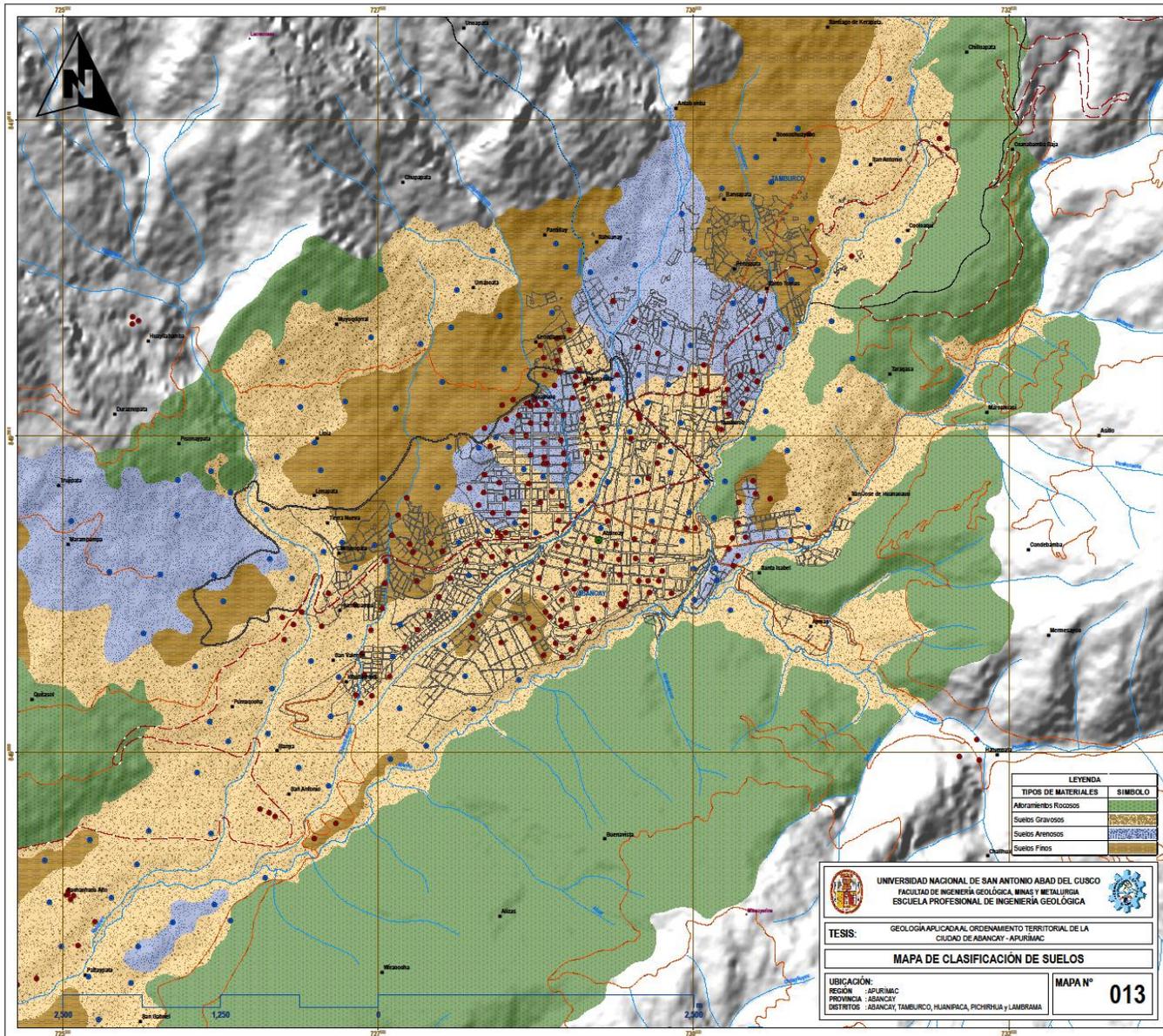
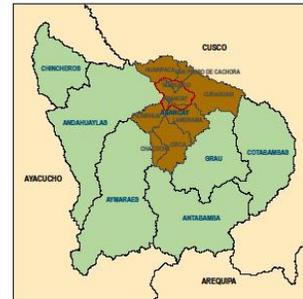


Gráfico 057: Mapa de capacidad portante de la ciudad de Abancay. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay - PNUD-INDECI, 2007.



**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**



**REFERENCIA**

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1/100 000  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
Información Geológica: Mapa de Ciudades Sostenibles Abancay PNUD-INDECI

**Proyección y Datum:**  
Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)  
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

**Escala de Análisis:** 1/10 000  
**Escala de Impresión:** 1/20 000

**Mapa:** Mapa de Clasificación de Suelos MCSUCS  
**Código de Mapa:** MCSUCS

**Elaboración y Diseño de Mapa:**  
Bach. Sotazar Gutiérrez, Esau

**Fecha:** Octubre del 2018  
**Fuente:** Modificado de Mapa de Peligros de la Ciudad de Abancay - Programa Ciudades Sostenibles - INDECI-PNUD

**SIMBOLOGÍA**

- Capital Departamental
  - Capital Distrital
  - Poblados
  - Límite Distrital
  - Cerros
  - Área de Estudio
  - ~ Red Hidrográfica
  - Catastro Urbano
  - Taludes Observados
  - Calicatas
- RED VIAL**
- ~ Via Nacional
  - ~ Via Regional
  - ~ Via Vecinal o Rural
  - ~ Via de Evitamiento



## CAPÍTULO VIII

### ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD FRENTE A LA GEODINÁMICA EXTERNA

El análisis de peligrosidad se refiere a la etapa de la evaluación o estimación de un evento “Movimiento en masa”, en la que se analizan los factores de magnitud, intensidad y recurrencia en función al tipo de fenómeno natural, para posteriormente concluir en el Mapa de Peligrosidad frente a Movimientos en Masa (Mapa 014). Así un peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno natural o tecnológico 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.

Entonces, la peligrosidad, se describe como la estimación o valoración de la ocurrencia de un evento con base en el estudio de su mecanismo generador (factores condicionantes), el monitoreo del sistema perturbador (factores desencadenantes) y/o el registro de sucesos en el tiempo y ámbito geográfico determinado.

Históricamente la ciudad de Abancay, debido a la geodinámica externa (movimientos en masa), ha sufrido muchas pérdidas humanas, caos social, pérdidas económicas, destrucción de infraestructuras civiles, etc., por lo que el análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa, es muy importante, tomando en consideración dicha historia. Es debido a ello que la microcuenca Mariño y áreas que están directamente relacionadas geológica e hidrometeorológicamente con la microcuenca, forman parte del área total del presente estudio, ya que son áreas que influyen como condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa que afecten a la ciudad.

El presente capítulo tiene como fin, culminar en la elaboración de un Mapa de Peligrosidad, el mismo que se constituye como una gran herramienta necesaria para la prevención y mitigación de peligros geológicos e hidrometeorológicos; además de ser una herramienta base para la formulación de planes y/o proyectos para el ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay. Sin embargo el análisis de peligrosidad, de acuerdo a la metodología del CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres), se desarrolló para los movimientos en masa más importantes de acuerdo a su magnitud e historia destructiva, como los son: el deslizamiento de Cocha-Pumaranra, el flujo de detritos del Sahuanay, el deslizamiento de Muyoqcorral y el asentamiento y reptación de suelos en el Barrio Fonavi.

Cabe destacar que los mapas de peligrosidad, si bien identifican áreas potenciales donde podrían ocurrir los movimientos en masa y/o alcanzar áreas de acuerdo a la magnitud de los mismos, no registran la totalidad de áreas donde se pueden generar dichos peligros o la predicción de los mismos; además de que el mapa en cuestión se debe considerar como una gran herramienta o información base, más no así como una información absoluta.

#### 8.1. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD FRENTE A MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa, a nivel de la sierra del país, históricamente representan los eventos más destructivos y los que causan la mayor cantidad de pérdidas de todo tipo y nivel en la sociedad, por lo que el estudio y/o tratado de ellos, es de vital importancia para mitigar su poder destructivo, prevenir el tiempo de ocurrencia o disminuir la intensidad y magnitud del mismo, y así enfocarse en un desarrollo más seguro de una población determinada.



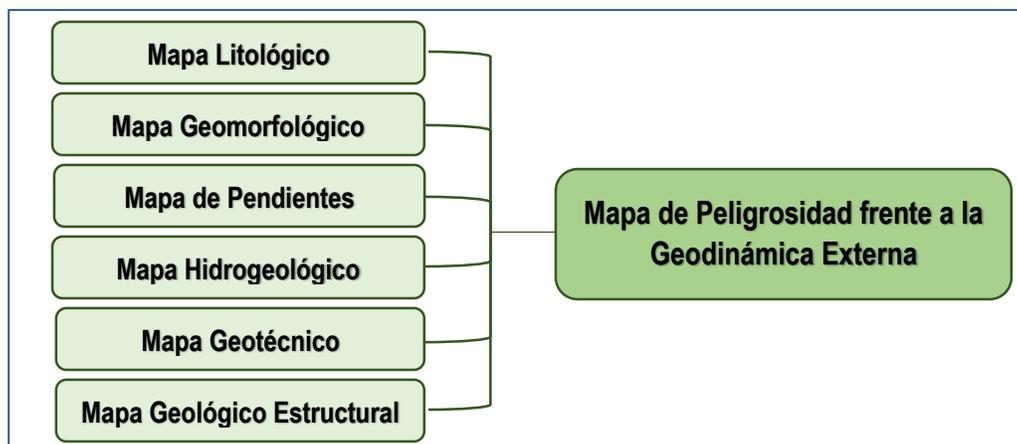
Tomando en consideración las premisas anteriores, para poder obtener un mapa de peligrosidad más certero, en el presente trabajo, se emplea el “Método Multicriterio”, mediante el proceso de “Análisis Jerárquico”, concluyendo así en el tipo de evento de geodinámica externa que mayor peligro representa para la ciudad de Abancay, además de los criterios o aspectos geológicos más determinantes para la ocurrencia de dichos eventos. Así, el método multicriterio de análisis jerárquico, depende de las características del elemento o criterio considerado y de la intensidad con la que se da el evento o peligro; suele evaluarse entre 0 (Sin daño) y 1 (Pérdida o destrucción total de un elemento) o entre 0% y 100% de daños.

El análisis de peligrosidad está directamente relacionada con la vulnerabilidad, ya que un determinado movimiento en masa, tendrá efectos más destructivos cuanto más vulnerable es el área donde tiene lugar, por lo que un lugar donde las viviendas sean de mampostería y en consecuencia más vulnerables respecto a otro lugar donde las viviendas son de concreto armado, será un área con mayor peligrosidad ante la ocurrencia de un movimiento en masa.

### 8.1.1. METODOLOGÍA PARA ELABORAR EL MAPA DE NIVEL DE PELIGROSIDAD

La metodología para la elaboración del Mapa de Peligrosidad frente a la Geodinámica Externa, se basa en la caracterización del territorio, la cual concluye en el cartografiado de mapas temáticos; dicha metodología se traduce en el método multicriterio, mediante el proceso de análisis jerárquico con matrices, que toma en consideración los diversos aspectos geológicos que intervienen como condicionantes para la ocurrencia de un movimiento en masa. Así para ser ingresado finalmente con sus respectivos valores ponderados al software ArcGis, para finalmente obtener el mapa de peligrosidad frente a la geodinámica externa.

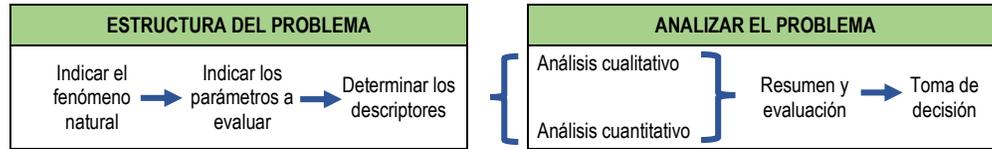
El método de análisis jerárquico con matrices, está basado en la caracterización del territorio. Es un método de análisis estadístico y no así un método cuantitativo para establecer un índice de inestabilidad o peligrosidad en una zona determinada. No es capaz de delimitar la peligrosidad en términos de probabilidad absoluta, sin embargo, permite determinar mediante una calibración adecuada, la probabilidad relativa del nivel de peligro en una región o zona amplia, utilizando una serie de valores cuantificables. Una vez seleccionado el conjunto de factores que condicionan la aparición de los movimientos en masa, se construye una matriz, de modo que cada una de sus celdas representa cada una de las combinaciones de las clases de factores considerados.



Esquema 002: Metodología general para un mapa de peligros frente a un movimiento en masa “x”. Fuente: Elaboración Propia.

### 8.1.2. PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

Este método (Esquema 003) fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980), diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que les permite a los actores, estructurar el problema de forma visual.



Esquema 003: Flujo metodológico a seguir para la toma de decisiones. Adaptado, Taskano (2005).

El punto central del proceso de análisis jerárquico es el proceso de asignar ponderación a los parámetros y descriptores relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados.

Para la estimación del valor de la importancia relativa de cada uno de los indicadores se recurre a una metodología de comparación de pares, en este caso se empleó el proceso de análisis jerárquico (Saaty, 1990) por sus ventajas, flexibilidad y por la facilidad de involucrar a todos los actores en el proceso de decisión (Garfi et al., 2011), la escala se muestra en la tabla 062.

ESCALA DE SAATY		
ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante que ...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, no hay diferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios o valores adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Tabla 062: Escala de Saaty. Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014.

### 8.1.3. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD

Como primer procedimiento en el análisis multicriterio para el análisis de peligrosidad, se realiza la ponderación de valores de los movimientos en masa cartografiados en nuestra área de trabajo (Tabla 063), con el objetivo de determinar el evento que mayor peligro representa para la ciudad de Abancay.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Peligros múltiples	<b>A</b>	1	1/3	1/3	1/3	1/5	3	1/5	1/7	1/5	1/7
Caída de rocas	<b>B</b>	3	<b>1</b>	1/3	1/3	1/3	3	1/5	1/5	1/5	1/7
Caída de rocas y detritos	<b>C</b>	3	3	<b>1</b>	1/3	1/3	3	1/5	1/5	1/3	1/5
Derrumbes	<b>D</b>	3	3	3	<b>1</b>	1/3	5	1/3	1/5	1/3	1/5
Derrumbes y Flujo de detritos	<b>E</b>	5	3	3	3	<b>1</b>	5	1/3	1/3	1/3	1/5
Flujo de detritos	<b>F</b>	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	<b>1</b>	1/7	1/7	1/5	1/9
Asentamientos y Reptación de suelos	<b>G</b>	5	5	5	3	3	7	<b>1</b>	1/3	3	1/3
Flujo de detritos o derrubios	<b>H</b>	7	5	5	5	3	7	3	<b>1</b>	3	1/3
Deslizamiento rotacional	<b>I</b>	5	5	3	3	3	5	1/3	1/3	<b>1</b>	1/3
Deslizamiento traslacional	<b>J</b>	7	7	5	5	5	9	3	3	3	<b>1</b>
<b>Total (Sumatoria de columnas)</b>		<b>39.33</b>	<b>32.67</b>	<b>26.00</b>	<b>21.20</b>	<b>16.40</b>	<b>48.00</b>	<b>8.74</b>	<b>5.89</b>	<b>11.60</b>	<b>3.00</b>

Tabla 063: Ponderación de valores para los movimientos en masa. Fuente: Elaboración Propia.

	MATRIZ NORMALIZADA									
<b>A</b>	0.025	0.010	0.013	0.016	0.012	0.063	0.023	0.024	0.017	0.048
<b>B</b>	0.076	0.031	0.013	0.016	0.020	0.063	0.023	0.034	0.017	0.048
<b>C</b>	0.076	0.092	0.038	0.016	0.020	0.063	0.023	0.034	0.029	0.067
<b>D</b>	0.076	0.092	0.115	0.047	0.020	0.104	0.038	0.034	0.029	0.067
<b>E</b>	0.127	0.092	0.115	0.142	0.061	0.104	0.038	0.057	0.029	0.067
<b>F</b>	0.008	0.010	0.013	0.009	0.012	0.021	0.016	0.024	0.017	0.037
<b>G</b>	0.127	0.153	0.192	0.142	0.183	0.146	0.114	0.057	0.259	0.111
<b>H</b>	0.178	0.153	0.192	0.236	0.183	0.146	0.343	0.170	0.259	0.111
<b>I</b>	0.127	0.153	0.115	0.142	0.183	0.104	0.038	0.057	0.086	0.111
<b>J</b>	0.178	0.214	0.192	0.236	0.305	0.188	0.343	0.510	0.259	0.334

Tabla 064: Matriz normalizada de los valores ponderados de los movimientos en masa. Se obtienen de la división entre los valores de las columnas con el valor de la sumatoria total. Fuente: Elaboración Propia.

	MATRIZ NORMALIZADA										PONDERACIÓN	%
<b>A</b>	0.025	0.010	0.013	0.016	0.012	0.063	0.023	0.024	0.017	0.048	<b>0.025</b>	<b>2.509</b>
<b>B</b>	0.076	0.031	0.013	0.016	0.020	0.063	0.023	0.034	0.017	0.048	<b>0.034</b>	<b>3.400</b>
<b>C</b>	0.076	0.092	0.038	0.016	0.020	0.063	0.023	0.034	0.029	0.067	<b>0.046</b>	<b>4.574</b>
<b>D</b>	0.076	0.092	0.115	0.047	0.020	0.104	0.038	0.034	0.029	0.067	<b>0.062</b>	<b>6.227</b>
<b>E</b>	0.127	0.092	0.115	0.142	0.061	0.104	0.038	0.057	0.029	0.067	<b>0.083</b>	<b>8.312</b>
<b>F</b>	0.008	0.010	0.013	0.009	0.012	0.021	0.016	0.024	0.017	0.037	<b>0.017</b>	<b>1.689</b>
<b>G</b>	0.127	0.153	0.192	0.142	0.183	0.146	0.114	0.057	0.259	0.111	<b>0.148</b>	<b>14.836</b>
<b>H</b>	0.178	0.153	0.192	0.236	0.183	0.146	0.343	0.170	0.259	0.111	<b>0.197</b>	<b>19.708</b>
<b>I</b>	0.127	0.153	0.115	0.142	0.183	0.104	0.038	0.057	0.086	0.111	<b>0.112</b>	<b>11.164</b>
<b>J</b>	0.178	0.214	0.192	0.236	0.305	0.188	0.343	0.510	0.259	0.334	<b>0.276</b>	<b>27.579</b>
											<b>1.000</b>	<b>100.000</b>

Tabla 065: Obtención del vector riorización (Ponderación), que se obtiene de la suma promedio de los valores de cada fila. Asimismo se tiene calculado los respectivos porcentajes de las filas, en referencia a la ponderación. Fuente: Elaboración Propia.

Cabe resaltar que el “vector priorización” indica la importancia o peso de cada parámetro (movimiento en masa), en la determinación del nivel de peligro y de acuerdo a la tabla anterior, tenemos que el movimiento en masa más importante para la determinación de la peligrosidad en nuestro estudio, es el deslizamiento traslacional (Número en rojo), representado por el deslizamiento Ccocha-Pumarana.



Como siguiente paso, en el proceso de análisis jerárquico, se encuentra el cálculo de la Relación de Consistencia (RC), el cual debe ser menor al 10% ( $RC < 0.1$ ), lo que nos indica que los criterios utilizados para la comparación de pares es la más adecuada. Sin embargo después de la obtención de datos de la ponderación (Tabla 065) se pasa a calcular el Vector Suma Ponderada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	VECTOR SUMA PONDERADA
<b>A</b>	0.025	0.011	0.015	0.021	0.017	0.051	0.030	0.028	0.022	0.039	<b>0.259</b>
<b>B</b>	0.075	0.034	0.015	0.021	0.028	0.051	0.030	0.039	0.022	0.039	<b>0.354</b>
<b>C</b>	0.075	0.102	0.046	0.021	0.028	0.051	0.030	0.039	0.037	0.055	<b>0.484</b>
<b>D</b>	0.075	0.102	0.137	0.062	0.028	0.084	0.049	0.039	0.037	0.055	<b>0.670</b>
<b>E</b>	0.125	0.102	0.137	0.187	0.083	0.084	0.049	0.066	0.037	0.055	<b>0.927</b>
<b>F</b>	0.008	0.011	0.015	0.012	0.017	0.017	0.021	0.028	0.022	0.031	<b>0.183</b>
<b>G</b>	0.125	0.170	0.229	0.187	0.249	0.118	0.148	0.066	0.335	0.092	<b>1.720</b>
<b>H</b>	0.176	0.170	0.229	0.311	0.249	0.118	0.445	0.197	0.335	0.092	<b>2.322</b>
<b>I</b>	0.125	0.170	0.137	0.187	0.249	0.084	0.049	0.066	0.112	0.092	<b>1.272</b>
<b>J</b>	0.176	0.238	0.229	0.311	0.416	0.152	0.445	0.591	0.335	0.276	<b>3.168</b>

Tabla 066: Cálculo de los valores del Vector Suma Ponderada, que se obtiene mediante la multiplicación de matrices de la tabla 063 con los valores de ponderación de la tabla 065. Fuente: Elaboración Propia.

Como siguiente paso, pasamos a calcular  $\lambda_{max}$ , el cual se obtiene al dividir los valores del Vector Suma Ponderada y el Vector de Priorización y Ponderación.

VECTOR SUMA PONDERADA	÷	VECTOR PRIORIZACIÓN	=	$\lambda_{max}$
0.259		0.025		10.3329
0.354		0.034		10.4252
0.484		0.046		10.5722
0.670		0.062		10.7620
0.927		0.083		11.1475
0.183		0.017		10.8493
1.720		0.148		11.5899
2.322		0.197		11.7836
1.272		0.112		11.3946
3.168		0.276		11.4883
				<b>11.0345</b>

Tabla 067: Procedimiento de cálculo de valores de  $\lambda_{max}$  y la sumatoria total del mismo. Fuente: Elaboración Propia.

Como pasos finales, hallamos el Índice de Consistencia (CI) y la Consistencia Aleatoria (RI), para terminar con el cálculo de la Relación de Consistencia (CR).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{(11.0345 - 10)}{(10 - 1)} = 0.1149$$

$$RI = 1.98 \frac{(n - 2)}{n} = 1.98 \frac{(10 - 2)}{10} = 1.5840$$



$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.1149}{1.5840} = 0.0726$$

Como podemos ver, el valor de la Relación de Consistencia es menor a 0.1, por lo que se concluye que el criterio utilizado para la comparación de pares es la más adecuada.

De acuerdo a la ponderación de valores mediante el método de análisis jerárquico se tiene la siguiente tabla de priorización respecto a los movimientos de masa cartografiados (Tabla 068):

MOVIMIENTOS EN MASA	PONDERACIÓN	PORCENTAJE
Peligros múltiples	0.025	2.509
Caída de rocas	0.034	3.400
Caída de rocas y detritos	0.046	4.574
Derrumbes	0.062	6.227
Derrumbes y Flujo de detritos	0.083	8.312
Flujo de detritos	0.017	1.689
Asentamientos y Reptación de suelos	0.148	14.836
Flujo de detritos o derrubios	0.197	19.708
Deslizamiento rotacional	0.112	11.164
Deslizamiento traslacional	0.276	27.579
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>100.000</b>

Tabla 068: Valores de importancia y peligrosidad de los movimientos en masa. Fuente: Elaboración Propia.

#### 8.1.4. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES

Para desarrollar la ponderación de los parámetros descriptores, se tiene que tener en consideración los factores condicionantes y los factores desencadenantes de los movimientos en masa; pero para nuestro estudio, sólo consideraremos los factores condicionantes que intervienen en los movimientos en masa más importantes a nivel de su grado de peligrosidad, como son: deslizamientos, flujo de detritos y, asentamientos y reptación de suelos.

Para los siguientes procesos de ponderación, mediante el proceso de análisis jerárquico-método multicriterio; se aclara que para el cuadro final de ponderación del parámetro y sus descriptores se realizarán una equivalencia simple de valores de acuerdo a la tabla 069, esto con la finalidad de elaborar el mapa de peligrosidad, donde la clasificación de peligro se realizará, desde un peligro muy alto a un peligro muy bajo, por lo que las tablas de ponderación de valores de los diferentes descriptores, estará acompañado por una columna de equivalencia.

NIVEL	VALORES DE EQUIVALENCIA
Muy Alto	0.503
Alto	0.260
Medio	0.134
Bajo	0.068
Muy Bajo	0.035

Tabla 069: Valores de equivalencia de los niveles de peligrosidad. Fuente: Elaboración propia, modificado de CENEPRED.

### 8.1.4.1. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES PARA DESLIZAMIENTOS

CRITERIOS	Pendientes	Geomorfología	Litología	Geología Estructural	Geotecnia
Pendientes	1	3	3	5	7
Geomorfología	1/3	1	1/3	3	3
Litología	1/3	3	1	3	5
Geología Estructural	1/5	1/3	1/3	1	3
Geotecnia	1/7	1/3	1/5	1/3	1
<b>Total</b>	<b>2.010</b>	<b>7.667</b>	<b>4.867</b>	<b>12.333</b>	<b>19.000</b>

Tabla 070: Ponderación de valores o comparación de pares para un deslizamiento. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS	MATRIZ NORMALIZADA					PONDERACIÓN	%
Pendientes	0.498	0.391	0.616	0.405	0.368	<b>0.456</b>	<b>45.584</b>
Geomorfología	0.166	0.130	0.068	0.243	0.158	<b>0.153</b>	<b>15.319</b>
Litología	0.166	0.391	0.205	0.243	0.263	<b>0.254</b>	<b>25.381</b>
Geología Estructural	0.100	0.043	0.068	0.081	0.158	<b>0.090</b>	<b>9.009</b>
Geotecnia	0.071	0.043	0.041	0.027	0.053	<b>0.047</b>	<b>4.706</b>
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>100.00</b>

Tabla 071: Matriz normalizada de los valores ponderados para un deslizamiento. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS						VECTOR SUMA PONDERADA
Pendientes	0.456	0.460	0.761	0.450	0.329	<b>2.457</b>
Geomorfología	0.152	0.153	0.085	0.270	0.141	<b>0.801</b>
Litología	0.152	0.460	0.254	0.270	0.235	<b>1.371</b>
Geología Estructural	0.091	0.051	0.085	0.090	0.141	<b>0.458</b>
Geotecnia	0.065	0.051	0.051	0.030	0.047	<b>0.244</b>

Tabla 072: Cálculo de valores del vector suma ponderada para un deslizamiento. Fuente: Elaboración Propia.

VECTOR SUMA PONDERADA		PONDERACIÓN	=	$\lambda_{max}$
2.457	÷	0.456	=	5.390
0.801		0.153		5.230
1.371		0.254		5.401
0.458		0.090		5.085
0.244		0.047		5.185
				<b>5.258</b>

Tabla 073: Cálculo de valores de  $\lambda_{max}$  y la sumatoria total del mismo, para un deslizamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Índice de Consistencia (CI): 0.0646

Consistencia Aleatoria (RI): 1.1880

$$Relación\ de\ Consistencia\ (CR) = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0646}{1.1880} = 0.0543$$

- a) **LITOLOGÍA.** Se analizaron sus características geológicas y estado de conservación, como el tipo y composición de roca, origen del material superficial, fracturamiento y meteorización; para entender el comportamiento y el grado de resistencia física a procesos de inestabilidad. Como se observa en la tabla 071, tabla de comparación de pares o ponderación, la litología es uno de los parámetros descriptores más importantes para que se produzca un determinado deslizamiento.

VARIABLE TEMÁTICA	CLASIFICACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Geología-Litología	Muy Bajo	0.035	Rocas duras intrusivas de tipo granito y granodioritas. Se comportan muy estables y difícilmente erosivas
	Bajo	0.068	Rocas duras sedimentarias e intrusivas como calizas, areniscas cuarzosas y granodioritas, son bastante estables.
	Medio	0.134	Conglomerados basálticos, presencia de areniscas, esquistos y micas, cuarcitas y pizarras. Se comportan con mediana estabilidad.
	Alto	0.260	Materiales poco consolidados de arenas, limos y arcillas, clastos sub-redondeados y sub-angulosos. Presencia de areniscas cuarzosas.
	Muy Alto	0.503	Depósitos sedimentarios poco consolidados. Se comportan muy inestablemente y altamente erosivas.

Tabla 074: Criterio de valoración de la variable temática Geología-Litología. Modificado de CENEPRED y MINAM.

PARÁMETRO	GEOLOGÍA-LITOLOGÍA	PESO PONDERADO: 0.254	EQUIVALENCIA	
Descriptores	L1	Depósitos Aluviales	0.039	0.068
	L2	Depósitos Fluviales	0.008	0.035
	L3	Depósitos Coluviales	0.148	0.503
	L4	Depósitos Fluvioaluviales	0.010	0.035
	L5	Depósitos Coluvioaluviales	0.123	0.503
	L6	Depósitos Fluvioglaciales	0.016	0.035
	L7	Depósitos Morrénicos	0.019	0.035
	L8	Fm. Ausangate	0.012	0.035
	L9	Fm. Arcurquina	0.030	0.068
	L10	Fm. Murco	0.025	0.068
	L11	Fm. Hualhuani	0.034	0.068
	L12	Fm. Gramadal	0.034	0.068
	L13	Fm. Labra	0.034	0.068
	L14	Fm. Puente	0.034	0.068
	L15	Fm. Socosani	0.068	0.134
	L16	Grupo Mitu	0.105	0.260
	L17	Ortogneis de Abancay	0.022	0.068
	L18	Grupo Copacabana (Unidad Superior)	0.090	0.260
	L19	Grupo Copacabana (Unidad Inferior)	0.079	0.134
	L20	Volcánico Sañayca	0.045	0.068
	L21	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Gabros	0.052	0.134
	L22	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Granodioritas	0.052	0.134
	L23	Intrusivo Lambrama Marjune	0.060	0.134
	L24	Intrusivo Ocobamba Anchaca	0.015	0.035

Tabla 075: Pesos ponderados de la variable litología. Fuente: Elaboración Propia.

- b) **GEOMORFOLOGÍA.** Es una variable muy importante, dado que las unidades geomorfológicas son el resultado del accionar geodinámico. Esta variable se analiza tomando en cuenta las características del relieve relacionado con la pendiente y el drenaje hídrico. El relieve topográfico expresa su modelado a través del tiempo y por acción de los agentes erosivos, sobre materiales estables o inestables, acelerados por el tipo de pendiente.

VARIABLE TEMÁTICA	CLASIFICACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Geomorfología	Muy Bajo	0.035	Se describen como las terrazas fluviales, las llanuras fluviales y las planicies antrópicas.
	Bajo	0.068	Se describen como las terrazas medias a altas con un drenaje bueno a moderado.
	Medio	0.134	Se describen las terrazas medias a altas, cimas de montaña y colinas con disección moderada y drenaje imperfecto a pobre.
	Alto	0.260	Se describen colinas y cimas de montaña con moderada a fuerte disección y con laderas de montaña empinadas a moderadamente empinadas.
	Muy Alto	0.503	Se describen terrazas bajas y valles con drenaje moderado a muy pobre y cimas de montaña con laderas fuertemente empinadas a escarpadas.

Tabla 076: Criterio de valoración de la variable temática Geomorfología. Modificado de CENEPRED y MINAM.

PARÁMETRO	GEOMORFOLOGÍA	PESO PONDERADO: 0.153	EQUIVALENCIA	
Descriptores	G1	Cimas de montaña	0.043	0.068
	G2	Cimas de montaña allanada	0.013	0.035
	G3	Laderas rocosas fuertemente empinadas	0.036	0.068
	G4	Laderas rocosas empinadas	0.036	0.068
	G5	Laderas rocosas moderadamente inclinadas	0.036	0.068
	G6	Laderas empinadas	0.056	0.134
	G7	Laderas moderadamente empinadas	0.149	0.503
	G8	Laderas fuertemente inclinadas	0.129	0.503
	G9	Laderas moderadamente inclinadas	0.115	0.503
	G10	Laderas ligeramente inclinadas	0.026	0.068
	G11	Colinas altas	0.081	0.260
	G12	Colinas bajas	0.073	0.134
	G13	Colinas erosionadas	0.023	0.068
	G14	Domos de yeso	0.020	0.035
	G15	Terrazas estructurales	0.016	0.035
	G16	Fondos de valle fluvioglacial	0.009	0.035
	G17	Altiplanicies fluvioglaciales	0.010	0.035
	G18	Fondos de valle fluvial	0.006	0.035
	G19	Terrazas fluviales	0.006	0.035
	G20	Llanuras fluviales	0.006	0.035
	G21	Terrazas aluviales altas	0.095	0.260
	G22	Terrazas aluviales bajas	0.060	0.134
	G23	Quebradas	0.031	0.068
	G24	Planicies antrópicas	0.007	0.035

Tabla 077: Pesos ponderados de la variable geomorfología. Fuente: Elaboración Propia.

- c) **PENDIENTES.** Se analizó desde la perspectiva de la erosión del suelo y el criterio probable de vulnerabilidad. Entonces cuanto mayor es la pendiente, mayor será el peligro a la erosión y pérdida del suelo, además de que será mayor la probabilidad para la ocurrencia de un evento de geodinámica externa.

VARIABLE TEMÁTICA	CLASIFICACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Pendientes	Muy Bajo	0.035	Pendiente de 0 - 4 % y >50%
	Bajo	0.068	Pendiente de 4 - 8 %
	Medio	0.134	Pendiente de 8 - 15 %
	Alto	0.260	Pendiente de 15 - 25 %
	Muy Alto	0.503	Pendiente de 25 - 50 %

Tabla 078: Criterio de valoración de la variable temática Pendientes. Modificado de CENEPRED y MINAM.

PARÁMETRO	PENDIENTES	PESO PONDERADO: 0.456	EQUIVALENCIA	
Descriptores	P1	Llano a ligeramente inclinado (0 - 4) %	0.026	0.035
	P2	Moderadamente inclinado (4 - 8) %	0.089	0.068
	P3	Fuertemente inclinado (8 - 15) %	0.153	0.134
	P4	Moderadamente empinado (15 - 25) %	0.243	0.260
	P5	Empinado (25 - 50) %	0.422	0.503
	P6	Fuertemente empinado (50 - 75) %	0.048	0.035
	P7	Escarpado (> 75) %	0.019	0.035

Tabla 079: Pesos ponderados de la variable pendientes. Fuente: Elaboración Propia.

- d) **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.** Representa la variable más importante para el análisis de vulnerabilidad frente a los peligros geológicos, ya que dependen en gran porcentaje de los movimientos en masa para discriminar las zonas o áreas de un determinado terreno para restringir su poblamiento y cualquier otra actividad humana.

VARIABLE TEMÁTICA	CLASIFICACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Geología Estructural	Muy Bajo	0.035	Se refiere a estructuras poco frecuentes en un movimiento en masa.
	Bajo	0.068	Se refiere a pliegues del tipo sinclinal.
	Medio	0.134	Se refiere a pliegues del tipo anticlinal.
	Alto	0.260	Se refiere a fallas del tipo cizalla.
	Muy Alto	0.503	Se refiere a estructuras presentes en un deslizamiento.

Tabla 080: Criterio de valoración de la variable temática Geología Estructural. Modificado de CENEPRED y MINAM.

PARÁMETRO	ESTRUCTURAS	PESO PONDERADO: 0.090	EQUIVALENCIA	
Descriptores	E1	Falla Normal e Inversa	0.037	0.035
	E2	Fallas Inferidas	0.260	0.503
	E3	Falla Direccional	0.148	0.260
	E4	Alineamiento de Falla	0.023	0.035
	E5	Anticlinal	0.089	0.134
	E6	Sinclinal	0.063	0.068
	E7	Pliegues inclinados	0.037	0.035

Tabla 081: Pesos Ponderados de la variable geología estructural. Fuente: Elaboración Propia.

### e) GEOTECNIA

VARIABLE TEMÁTICA	CLASIFICACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Geotecnia	Muy Bajo	0.035	Se refiere a los afloramientos rocosos que se encuentran bastante estables y con un mínimo grado de fracturamiento y/o meteorización.
	Bajo	0.068	Rocas con un grado de fracturamiento medio y suelos gravosos bastante competentes y bien clasificados.
	Medio	0.134	Suelos granulares, entre gravosos y arenosos, bastante competentes.
	Alto	0.260	Suelos finos, caracterizados por la alta presencia de arcillas y limos, muchas veces con un alto contenido de humedad.
	Muy Alto	0.503	Suelos orgánicos de alta plasticidad, de ambientes de pantano y bofedales.

Tabla 082: Criterio de valoración de la variable temática Geotecnia. Modificado de CENEPRED.

PARÁMETRO	GEOTECNIA	PESO PONDERADO: 0.047	EQUIVALENCIA
Descriptores	GT1 Suelos finos	0.558	0.260
	GT2 Suelos arenosos	0.263	0.134
	GT3 Suelos gravosos	0.122	0.068
	GT4 Afloramientos rocosos	0.057	0.035

Tabla 083: Pesos Ponderados de la variable geotecnia. Fuente: Elaboración Propia.

#### 8.1.4.2. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTOS

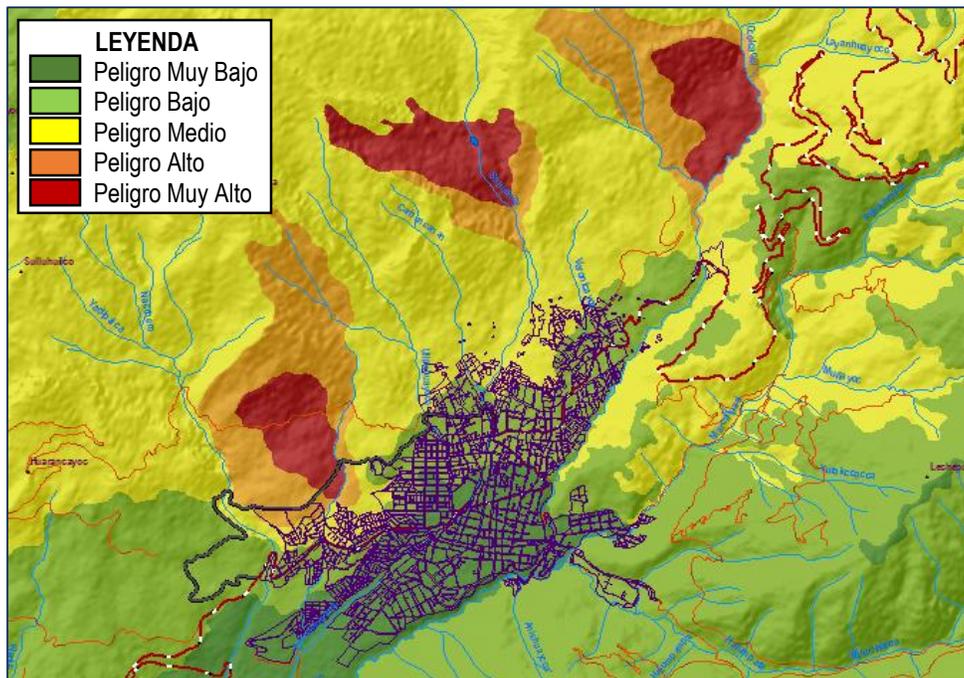


Gráfico 058: Mapa de peligrosidad frente a deslizamientos. Fuente: Elaboración Propia.

### 8.1.4.3. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTORES PARA UN FLUJO DE DETRITOS

CRITERIOS	Pendientes	Geomorfología	Litología	Hidrogeología	Geología Estructural	Geotecnia
Pendientes	1	1/3	1/7	1/5	3	3
Geomorfología	3	1	1/5	1/3	5	5
Litología	7	5	1	3	9	9
Hidrogeología	5	3	1/3	1	7	9
Geología Estructural	1/3	1/5	1/9	1/7	1	3
Geotecnia	1/3	1/5	1/9	1/9	1/3	1
<b>Total</b>	<b>16.667</b>	<b>9.733</b>	<b>1.898</b>	<b>4.787</b>	<b>25.333</b>	<b>30.000</b>

Tabla 084: Ponderación de valores o comparación de pares para un flujo de detritos. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS	MATRIZ NORMALIZADA						PONDERACIÓN	%
Pendientes	0.060	0.034	0.075	0.042	0.118	0.100	<b>0.072</b>	<b>7.162</b>
Geomorfología	0.180	0.103	0.105	0.070	0.197	0.167	<b>0.137</b>	<b>13.696</b>
Litología	0.420	0.514	0.527	0.627	0.355	0.300	<b>0.457</b>	<b>45.706</b>
Hidrogeología	0.300	0.308	0.176	0.209	0.276	0.300	<b>0.262</b>	<b>26.150</b>
Geología Estructural	0.020	0.021	0.059	0.030	0.039	0.100	<b>0.045</b>	<b>4.473</b>
Geotecnia	0.020	0.021	0.059	0.023	0.013	0.033	<b>0.028</b>	<b>2.813</b>
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>100.00</b>

Tabla 085: Matriz normalizada de los valores ponderados para un flujo de detritos. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS	VECTOR SUMA PONDERADA						
Pendientes	0.072	0.046	0.065	0.052	0.134	0.084	<b>0.453</b>
Geomorfología	0.215	0.137	0.091	0.087	0.224	0.141	<b>0.895</b>
Litología	0.501	0.685	0.457	0.785	0.403	0.253	<b>3.083</b>
Hidrogeología	0.358	0.411	0.152	0.262	0.313	0.253	<b>1.749</b>
Geología Estructural	0.024	0.027	0.051	0.037	0.045	0.084	<b>0.269</b>
Geotecnia	0.024	0.027	0.051	0.029	0.015	0.028	<b>0.174</b>

Tabla 086: Cálculo de valores del vector suma ponderada para un flujo de detritos. Fuente: Elaboración Propia.

VECTOR SUMA PONDERADA		PONDERACIÓN		$\lambda_{max}$
0.453		0.072		6.332
0.895	$\div$	0.137	$=$	6.533
3.083		0.457		6.746
1.749		0.262		6.689
0.269		0.045		6.003
0.174		0.028		6.191
				<b>6.415</b>

Tabla 087: Cálculo de valores de  $\lambda_{max}$  y la sumatoria total del mismo, para un flujo de detritos. Fuente: Elaboración Propia.

Índice de Consistencia (CI): 0.0646

Consistencia Aleatoria (RI): 1.1880

Relación de Consistencia (CR): 0.0630

Al igual que en los cálculos de valores de ponderación mediante el proceso de análisis jerárquico para un deslizamiento, realizaremos los cálculos respectivos para un flujo de detritos, centrándonos básicamente en las tablas resultado de pesos ponderados con su respectivo valor equivalente.

### a) LITOLOGÍA

PARÁMETRO	GEOLOGÍA-LITOLOGÍA	PESO PONDERADO: 0.457	EQUIVALENCIA	
Descriptores	L1	Depósitos Aluviales	0.053	0.134
	L2	Depósitos Fluviales	0.006	0.035
	L3	Depósitos Coluviales	0.159	0.503
	L4	Depósitos Fluvioaluviales	0.011	0.035
	L5	Depósitos Coluvioaluviales	0.132	0.503
	L6	Depósitos Fluvioglaciales	0.007	0.035
	L7	Depósitos Morrénicos	0.008	0.035
	L8	Fm. Ausangate	0.017	0.035
	L9	Fm. Arcurquina	0.025	0.068
	L10	Fm. Murco	0.023	0.068
	L11	Fm. Hualhuani	0.028	0.068
	L12	Fm. Gramadal	0.028	0.068
	L13	Fm. Labra	0.028	0.068
	L14	Fm. Puente	0.028	0.068
	L15	Fm. Socosani	0.070	0.134
	L16	Grupo Mitu	0.114	0.503
	L17	Ortogneis de Abancay	0.020	0.068
	L18	Grupo Copacabana (Unidad Superior)	0.092	0.260
	L19	Grupo Copacabana (Unidad Inferior)	0.084	0.260
	L20	Volcánico Sañayca	0.014	0.035
	L21	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Gabros	0.044	0.068
	L22	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Granodioritas	0.044	0.068
	L23	Intrusivo Lambrama Marjune	0.058	0.134
	L24	Intrusivo Ocobamba Anchaca	0.036	0.068

Tabla 088: Pesos ponderados de la variable litología. Fuente: Elaboración Propia.

### b) GEOMORFOLOGÍA

PARÁMETRO	GEOMORFOLOGÍA	PESO PONDERADO: 0.137	EQUIVALENCIA	
Descriptores	G1	Cimas de montaña	0.081	0.260
	G2	Cimas de montaña allanada	0.030	0.068
	G3	Laderas rocosas fuertemente empinadas	0.037	0.068
	G4	Laderas rocosas empinadas	0.037	0.068
	G5	Laderas rocosas moderadamente inclinadas	0.037	0.068
	G6	Laderas empinadas	0.050	0.134
	G7	Laderas moderadamente empinadas	0.058	0.134
	G8	Laderas fuertemente inclinadas	0.161	0.503
	G9	Laderas moderadamente inclinadas	0.135	0.503
	G10	Laderas ligeramente inclinadas	0.043	0.068

PARÁMETRO	GEOMORFOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.137	EQUIVALENCIA
Descriptores	G1	Colinas altas	0.112	0.503
	G2	Colinas bajas	0.095	0.260
	G3	Colinas erosionadas	0.013	0.035
	G4	Domos de yeso	0.016	0.035
	G5	Terrazas estructurales	0.019	0.035
	G6	Fondos de valle fluvioglacial	0.009	0.035
	G7	Altiplanicies fluvioglaciales	0.011	0.035
	G8	Fondos de valle fluvial	0.009	0.035
	G9	Terrazas fluviales	0.008	0.035
	G10	Llanuras fluviales	0.008	0.035
	G11	Terrazas aluviales altas	0.068	0.134
	G12	Terrazas aluviales bajas	0.026	0.068
	G13	Quebradas	0.022	0.068
	G14	Planicies antrópicas	0.006	0.035

Tabla 089: Pesos ponderados de la variable geomorfología. Fuente: Elaboración Propia.

- c) **HIDROGEOLOGÍA.** Este parámetro, no fue considerado para el proceso de análisis jerárquico para obtener los valores de los descriptores de un deslizamiento, sin embargo, es una buena base de datos para realizar las calibraciones y correcciones en el mapa de peligrosidad, como lo será para los valores de flujo de detritos.

PARÁMETRO	HIDROGEOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.262	EQUIVALENCIA	
Descriptores	H1	Acuífero	Poroso no consolidado	0.030	0.035
	H2		Sedimentario	0.150	0.260
	H3		Kárstico	0.212	0.503
	H4		Vulcanosedimentario-Fisurado	0.290	0.503
	H5	Acuitardo	Poroso no consolidado	0.113	0.134
	H6		Volcánico	0.081	0.068
	H7		Intrusivo	0.058	0.068
	H8		Metamórfico	0.044	0.035
	H9	Acuicludo	Sedimentario	0.021	0.035

Tabla 090: Pesos ponderados de la variable hidrogeología. Fuente: Elaboración Propia.

#### d) PENDIENTES

PARÁMETRO	PENDIENTES		PESO PONDERADO: 0.072	EQUIVALENCIA
Descriptores	P1	Llano a ligeramente inclinado (0 - 4) %	0.036	0.035
	P2	Moderadamente inclinado (4 - 8) %	0.105	0.134
	P3	Fuertemente inclinado (8 - 15) %	0.246	0.260
	P4	Moderadamente empinado (15 - 25) %	0.391	0.503
	P5	Empinado (25 - 50) %	0.138	0.134
	P6	Fuertemente empinado (50 - 75) %	0.063	0.068
	P7	Escarpado (> 75) %	0.021	0.035

Tabla 091: Pesos ponderados de la variable pendientes. Fuente: Elaboración Propia.

### e) GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

PARÁMETRO	ESTRUCTURAS	PESO PONDERADO: 0.045	EQUIVALENCIA	
Descriptores	E1	Falla Normal e Inversa	0.503	0.503
	E2	Fallas Inferidas	0.260	0.260
	E3	Falla Direccional	0.134	0.135
	E4	Alineamiento de Falla	0.035	0.035
	E5	Anticlinal	0.068	0.068
	E6	Sinclinal	0.068	0.068
	E7	Pliegues inclinados	0.068	0.068

Tabla 092: Pesos ponderados de la variable geología estructural. Fuente: Elaboración Propia.

### f) GEOTECNIA

PARÁMETRO	GEOTECNIA	PESO PONDERADO: 0.028	EQUIVALENCIA	
Descriptores	GT1	Suelos finos	0.122	0.068
	GT2	Suelos arenosos	0.263	0.134
	GT3	Suelos gravosos	0.558	0.260
	GT4	Afloramientos rocosos	0.057	0.035

Tabla 093: Pesos ponderados de la variable geotecnia. Fuente: Elaboración Propia.

#### 8.1.4.4. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A UN FLUJO DE DETRITOS

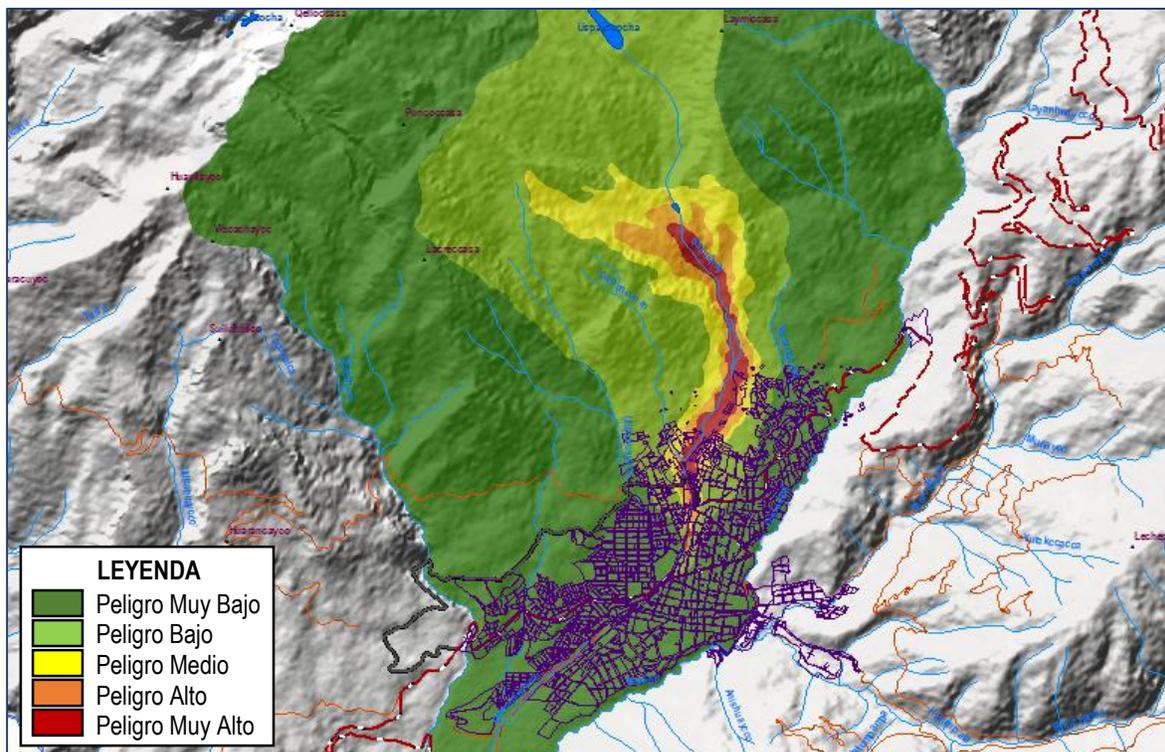


Gráfico 059: Mapa de peligrosidad frente a un Flujo de detritos. Fuente: Elaboración Propia.

### 8.1.4.5. PONDERACIÓN DE PARÁMETROS PARA ASENTAMIENTO Y REPTACIÓN DE SUELOS

CRITERIOS	Pendientes	Geomorfología	Litología	Hidrogeología	Geología Estructural	Geotecnia
Pendientes	1	1/3	1/5	1/7	3	1/3
Geomorfología	3	1	1/3	1/5	3	1/3
Litología	5	3	1	1/3	7	3
Hidrogeología	7	5	3	1	9	3
Geología Estructural	1/3	1/3	1/7	1/9	1	1/5
Geotecnia	3	3	1/3	1/3	5	1
<b>Total</b>	<b>19.333</b>	<b>12.667</b>	<b>5.010</b>	<b>2.121</b>	<b>28.000</b>	<b>7.867</b>

Tabla 094: Ponderación de valores para un asentamiento y reptación de suelos. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS	MATRIZ NORMALIZADA						PONDERACIÓN	%
Pendientes	0.052	0.026	0.040	0.067	0.107	0.042	<b>0.056</b>	<b>5.581</b>
Geomorfología	0.155	0.079	0.067	0.094	0.107	0.042	<b>0.091</b>	<b>9.075</b>
Litología	0.259	0.237	0.200	0.157	0.250	0.381	<b>0.247</b>	<b>24.727</b>
Hidrogeología	0.362	0.395	0.599	0.472	0.321	0.381	<b>0.422</b>	<b>42.167</b>
Geología Estructural	0.017	0.026	0.029	0.052	0.036	0.025	<b>0.031</b>	<b>3.093</b>
Geotecnia	0.155	0.237	0.067	0.157	0.179	0.127	<b>0.154</b>	<b>15.357</b>
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>100.00</b>

Tabla 095: Matriz normalizada los valores ponderados para un asentamiento y reptación de suelos. Fuente: Elaboración Propia.

CRITERIOS	VECTOR SUMA PONDERADA						
Pendientes	0.056	0.030	0.049	0.060	0.093	0.051	<b>0.340</b>
Geomorfología	0.167	0.091	0.082	0.084	0.093	0.051	<b>0.569</b>
Litología	0.279	0.272	0.247	0.141	0.217	0.461	<b>1.616</b>
Hidrogeología	0.391	0.454	0.742	0.422	0.278	0.461	<b>2.747</b>
Geología Estructural	0.019	0.030	0.035	0.047	0.031	0.031	<b>0.193</b>
Geotecnia	0.167	0.272	0.082	0.141	0.155	0.154	<b>0.971</b>

Tabla 096: Valores del vector suma ponderada para un asentamiento y reptación de suelos. Fuente: Elaboración Propia.

VECTOR SUMA PONDERADA	÷	PONDERACIÓN	=	$\lambda_{max}$
0.340		0.056		6.088
0.569		0.091		6.269
1.616		0.247		6.537
2.747		0.422		6.515
0.193		0.031		6.229
0.971		0.154		6.322
				<b>6.327</b>

Tabla 097: Valores de  $\lambda_{max}$  y la sumatoria total, para un asentamiento y reptación de suelos. Fuente: Elaboración Propia.

Índice de Consistencia (CI): 0.0653  
 Consistencia Aleatoria (RI): 1.3200  
 Relación de Consistencia (CR): 0.0495

Al igual que en los cálculos de valores de ponderación mediante el proceso de análisis jerárquico para una avalancha de detritos, realizaremos los cálculos respectivos para Asentamientos y Reptación de suelos centrándonos en las tablas resultado de pesos ponderados con su respectivo valor equivalente.

### a) LITOLOGÍA

PARÁMETRO	GEOLOGÍA-LITOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.247	EQUIVALENCIA
Descriptores	L1	Depósitos Aluviales	0.115	0.503
	L2	Depósitos Fluviales	0.008	0.035
	L3	Depósitos Coluviales	0.123	0.503
	L4	Depósitos Fluvioaluviales	0.069	0.134
	L5	Depósitos Coluvioaluviales	0.148	0.503
	L6	Depósitos Fluvioglaciales	0.079	0.134
	L7	Depósitos Morrénicos	0.090	0.260
	L8	Fm. Ausangate	0.034	0.068
	L9	Fm. Arcurquina	0.016	0.035
	L10	Fm. Murco	0.014	0.035
	L11	Fm. Hualhuani	0.039	0.068
	L12	Fm. Gramadal	0.039	0.068
	L13	Fm. Labra	0.039	0.068
	L14	Fm. Puente	0.039	0.068
	L15	Fm. Socosani	0.045	0.068
	L16	Grupo Mitu	0.060	0.134
	L17	Ortogneis de Abancay	0.010	0.035
	L18	Grupo Copacabana (Unidad Superior)	0.053	0.134
	L19	Grupo Copacabana (Unidad Inferior)	0.019	0.035
	L20	Volcánico Sañayca	0.022	0.068
	L21	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Gabros	0.029	0.068
	L22	Intrusivo Cotabambas Curahuasi - Granodioritas	0.029	0.068
	L23	Intrusivo Lambrama Marjune	0.025	0.068
	L24	Intrusivo Ocobamba Anchaca	0.012	0.035

Tabla 098: Pesos ponderados de la variable litología. Fuente: Elaboración Propia.

### b) GEOMORFOLOGÍA

PARÁMETRO	GEOMORFOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.091	EQUIVALENCIA
Descriptores	G1	Cimas de montaña	0.017	0.035
	G2	Cimas de montaña allanada	0.053	0.134
	G3	Laderas rocosas fuertemente empinadas	0.014	0.035
	G4	Laderas rocosas empinadas	0.014	0.035
	G5	Laderas rocosas moderadamente inclinadas	0.014	0.035
	G6	Laderas empinadas	0.029	0.068
	G7	Laderas moderadamente empinadas	0.034	0.068
	G8	Laderas fuertemente inclinadas	0.104	0.260
	G9	Laderas moderadamente inclinadas	0.090	0.260
	G10	Laderas ligeramente inclinadas	0.078	0.134

PARÁMETRO	GEOMORFOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.091	EQUIVALENCIA
Descriptores	G1	Colinas altas	0.039	0.068
	G2	Colinas bajas	0.122	0.503
	G3	Colinas erosionadas	0.010	0.035
	G4	Domos de yeso	0.046	0.068
	G5	Terrazas estructurales	0.025	0.068
	G6	Fondos de valle fluvioglacial	0.008	0.035
	G7	Altiplanicies fluvioglaciales	0.060	0.134
	G8	Fondos de valle fluvial	0.008	0.035
	G9	Terrazas fluviales	0.020	0.068
	G10	Llanuras fluviales	0.020	0.068
	G11	Terrazas aluviales altas	0.070	0.134
	G12	Terrazas aluviales bajas	0.146	0.503
	G13	Quebradas	0.012	0.035
	G14	Planicies antrópicas	0.022	0.068

Tabla 099: Pesos ponderados de la variable geomorfología. Fuente: Elaboración Propia.

- c) **HIDROGEOLOGÍA.** La hidrogeología, al igual que para el caso el flujo de detritos, está siendo considerado desde su perspectiva textural, resaltando así las unidades hidrogeológicas y los diferentes afluentes o manantes, estos últimos datos para realizar las calibraciones y correcciones necesarias en el mapa de peligrosidad frente a asentamientos.

PARÁMETRO	HIDROGEOLOGÍA		PESO PONDERADO: 0.422	EQUIVALENCIA	
Descriptores	H1	Acuífero	Poroso no consolidado	0.198	0.260
	H2		Sedimentario	0.150	0.260
	H3		Kárstico	0.065	0.068
	H4		Vulcanosedimentario-Fisurado	0.115	0.134
	H5	Acuitardo	Poroso no consolidado	0.277	0.503
	H6		Volcánico	0.049	0.035
	H7		Intrusivo	0.036	0.035
	H8		Metamórfico	0.024	0.035
	H9	Acuicludo	Sedimentario	0.086	0.068

Tabla 100: Pesos ponderados de la variable hidrogeología. Fuente: Elaboración Propia.

#### d) PENDIENTES

PARÁMETRO	PENDIENTES		PESO PONDERADO: 0.056	EQUIVALENCIA
Descriptores	P1	Llano a ligeramente inclinado (0 - 4) %	0.102	0.134
	P2	Moderadamente inclinado (4 - 8) %	0.234	0.260
	P3	Fuertemente inclinado (8 - 15) %	0.373	0.503
	P4	Moderadamente empinado (15 - 25) %	0.156	0.134
	P5	Empinado (25 - 50) %	0.066	0.068
	P6	Fuertemente empinado (50 - 75) %	0.043	0.035
	P7	Escarpado (> 75) %	0.026	0.035

Tabla 101: Pesos ponderados de la variable pendientes. Fuente: Elaboración Propia.

### e) GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

PARÁMETRO	ESTRUCTURAS	PESO PONDERADO: 0.031	EQUIVALENCIA	
Descriptores	E1	Falla Normal e Inversa	0.456	0503
	E2	Fallas Inferidas	0.254	0.260
	E3	Falla Direccional	0.153	0.134
	E4	Alineamiento de Falla	0.090	0.068
	E5	Anticlinal	0.047	0.035
	E6	Sinclinal	0.047	0.035
	E7	Pliegues inclinados	0.047	0.035

Tabla 102: Pesos ponderados de la variable geología estructural. Fuente: Elaboración Propia.

### f) GEOTECNIA

PARÁMETRO	GEOTECNIA	PESO PONDERADO: 0.154	EQUIVALENCIA	
Descriptores	GT1	Suelos finos	0.592	0.503
	GT2	Suelos arenosos	0.237	0.260
	GT3	Suelos gravosos	0.126	0.134
	GT4	Afloramientos rocosos	0.045	0.035

Tabla 103: Pesos ponderados de la variable geotecnia. Fuente: Elaboración Propia.

### 8.1.4.6. MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A ASENTAMIENTO Y REPTACIÓN DE SUELOS

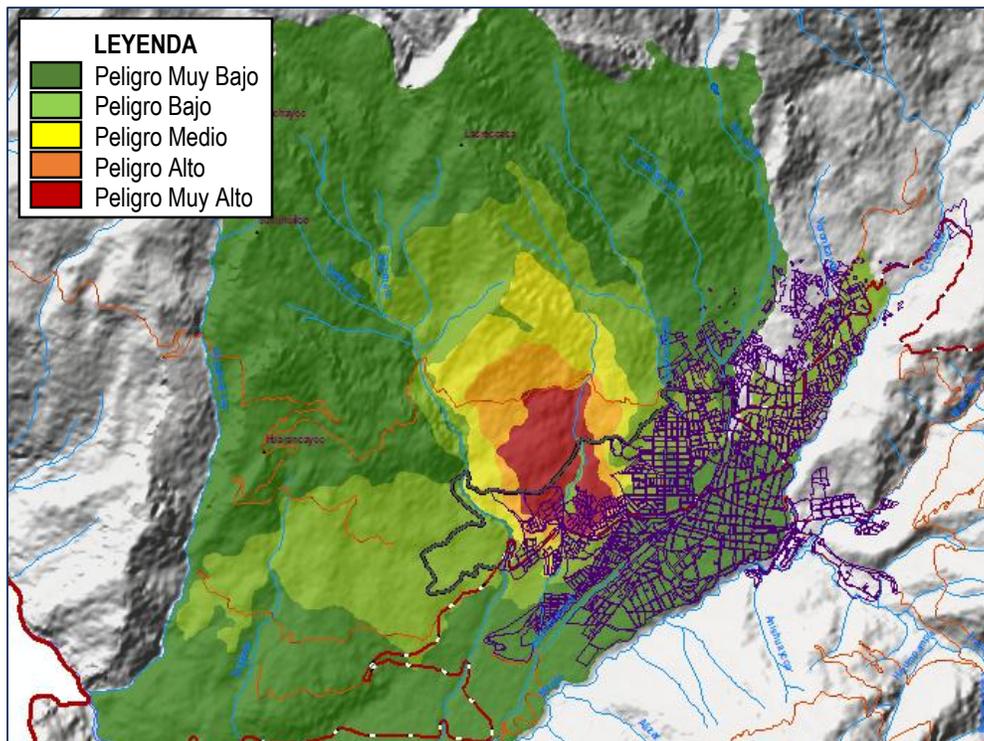


Gráfico 060: Mapa de peligrosidad frente a asentamientos y reptación de suelos.

### 8.1.5. ESTRATIFICACIÓN DEL MAPA DE PELIGROSIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

NIVEL	RANGO	DESCRIPCIÓN
Peligrosidad Muy Alta	$0.260 \leq R < 0.503$	<p>Zonas con muy alta peligrosidad a deslizamientos, avalancha de detritos, caída de rocas, asentamientos, reptación de suelos y derrumbes; condicionados por:</p> <p>Relieves con pendientes escarpadas, fuertemente empinados y empinados, que se encuentran constituidos por depósitos inconsolidados (Depósitos aluviales, coluviales y coluvioaluviales), rocas altamente fracturadas. En estas zonas (Suelos cuaternarios), se puede observar que los suelos son limoarcillosos a gravosos en una matriz limosa; mientras en las zonas rocosas, la cobertura vegetal es mínima a nula. Algunas áreas se encuentran cerca a fuentes de agua (Surgencias y/o manantes), son zonas muy inestables con pendientes mayor al 15%. Laderas con zonas de falla, masas rocosas intensamente meteorizadas, alteradas y saturadas. Son áreas que se caracterizan por la presencia de movimientos en masa activos.</p>
Peligrosidad Alta	$0.134 \leq R < 0.260$	<p>Zonas con muy alta peligrosidad a deslizamientos, avalancha de detritos, caída de rocas, asentamientos, reptación de suelos y derrumbes; condicionados por:</p> <p>Laderas con pendientes fuertemente inclinados a empinados que se encuentran constituidos por depósitos cuaternarios inconsolidados. Estas zonas presentan una moderada vegetación, son embargo su característica litológica (Suelos limoarcillosos), las hacen bastante inestables frente a precipitaciones pluviales. Buena parte de estas áreas en las periferias de la ciudad de Abancay se encuentran destinadas a la agricultura. Corresponden a zonas bastante húmedas, donde algunos afloramientos rocosos se hallan altamente fracturados y meteorizados, sin embargo muchas veces se encuentran cubiertos por las masas de suelo. Las áreas son influencias directas de los movimientos en masa activos.</p>
Peligrosidad Media	$0.068 \leq R < 0.134$	<p>Zonas con alta peligrosidad a deslizamientos, avalancha de detritos, caída de rocas, asentamientos, reptación de suelos y derrumbes; condicionados por:</p> <p>Laderas con pendientes moderadamente inclinados a fuertemente inclinados, que se encuentran constituidos por masas rocosas con una meteorización media relativamente estables a pesar de su alto grado de fracturamiento. Estas zonas están caracterizadas por la potencia media de cobertura de suelos cuaternarios.</p>
Peligrosidad Baja	$0.035 \leq R < 0.068$	<p>Zonas con baja peligrosidad a deslizamientos, avalancha de detritos, caída de rocas, asentamientos, reptación de suelos y derrumbes; condicionados por:</p> <p>Los relieves en estas zonas están dominados por pendientes moderadamente inclinadas, sin embargo en algunas áreas donde se dan afloramientos de macizos rocosos y dominios lacustres (Sector Sur-Este de la ciudad de Abancay), las áreas son bastante estables a pesar de su mínima o nula cobertura vegetal. La gran condicionante para la vulnerabilidad baja de estas zonas es la pendiente, geomorfología y la litología.</p>

NIVEL	RANGO	DESCRIPCIÓN
Peligrosidad Muy Baja	$0.001 \leq R < 0.035$	<p>Zonas con muy baja peligrosidad a deslizamientos, avalancha de detritos, caída de rocas, asentamientos, reptación de suelos y derrumbes; condicionados por:</p> <p>Básicamente se refiere a la cimas de montaña y a las zonas de laderas con pendientes llanas a ligeramente inclinadas. Se caracterizan por el afloramiento de macizos rocosos, alta a media cobertura vegetal, dominados en las áreas llanas por depósitos fluviales y fluvioaluviales y en la cimas de montaña, se caracterizan por que sus suelos son limoarenosos sobre una pendiente ligeramente inclinada.</p>

Tabla 104: Peligrosidad frente a movimientos e masa. Fuente: Elaboración Propia.

Como síntesis del presente capítulo, en diferentes estudios se utiliza una terminología propia para definir la peligrosidad, el riesgo y la vulnerabilidad. Si bien el término riesgo, frecuentemente se emplea para referirse a cualquier proceso más o menos violento o catastrófico que puede afectar a las personas o bienes, y se aplica como sinónimo de peligrosidad, ambos conceptos son diferentes. La peligrosidad se refiere al proceso geológico, el riesgo, a las pérdidas y la vulnerabilidad, a los daños. La peligrosidad hace referencia a la frecuencia de ocurrencia de un proceso o evento y al lugar. El concepto de riesgo, incorpora consideraciones socioeconómicas, y se define como las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado.

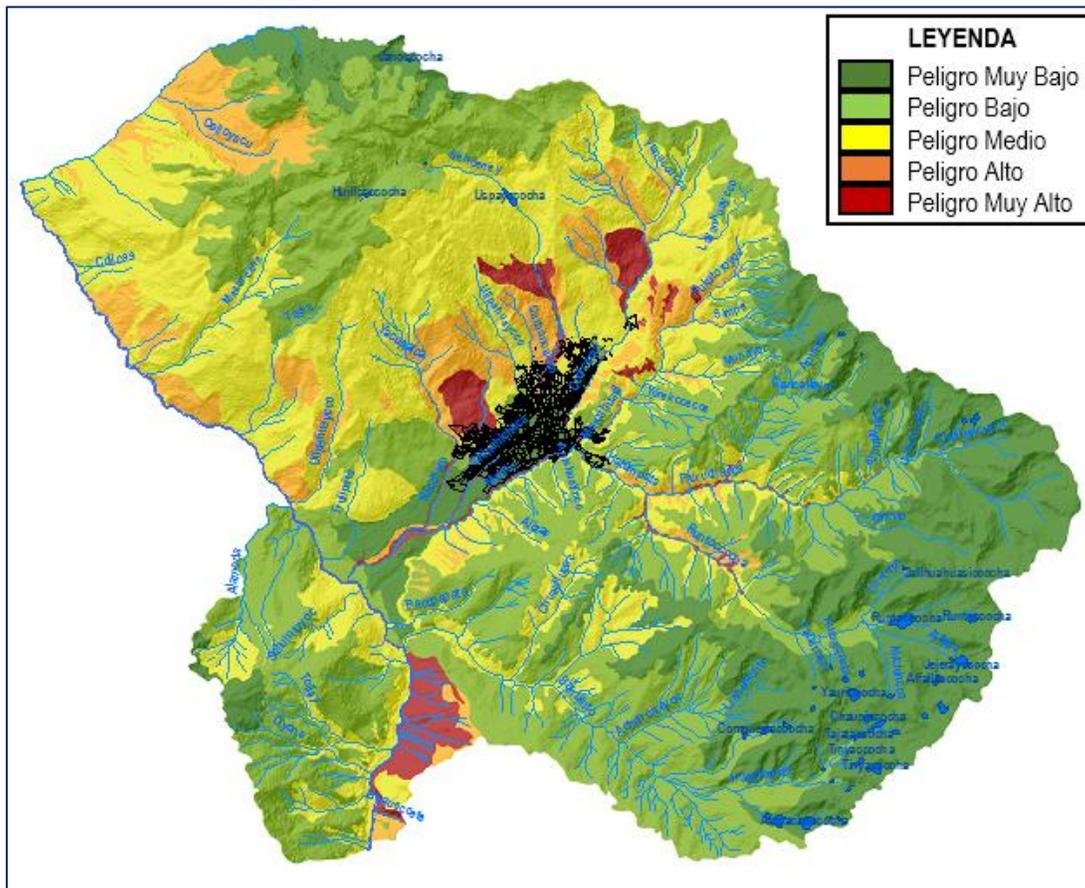
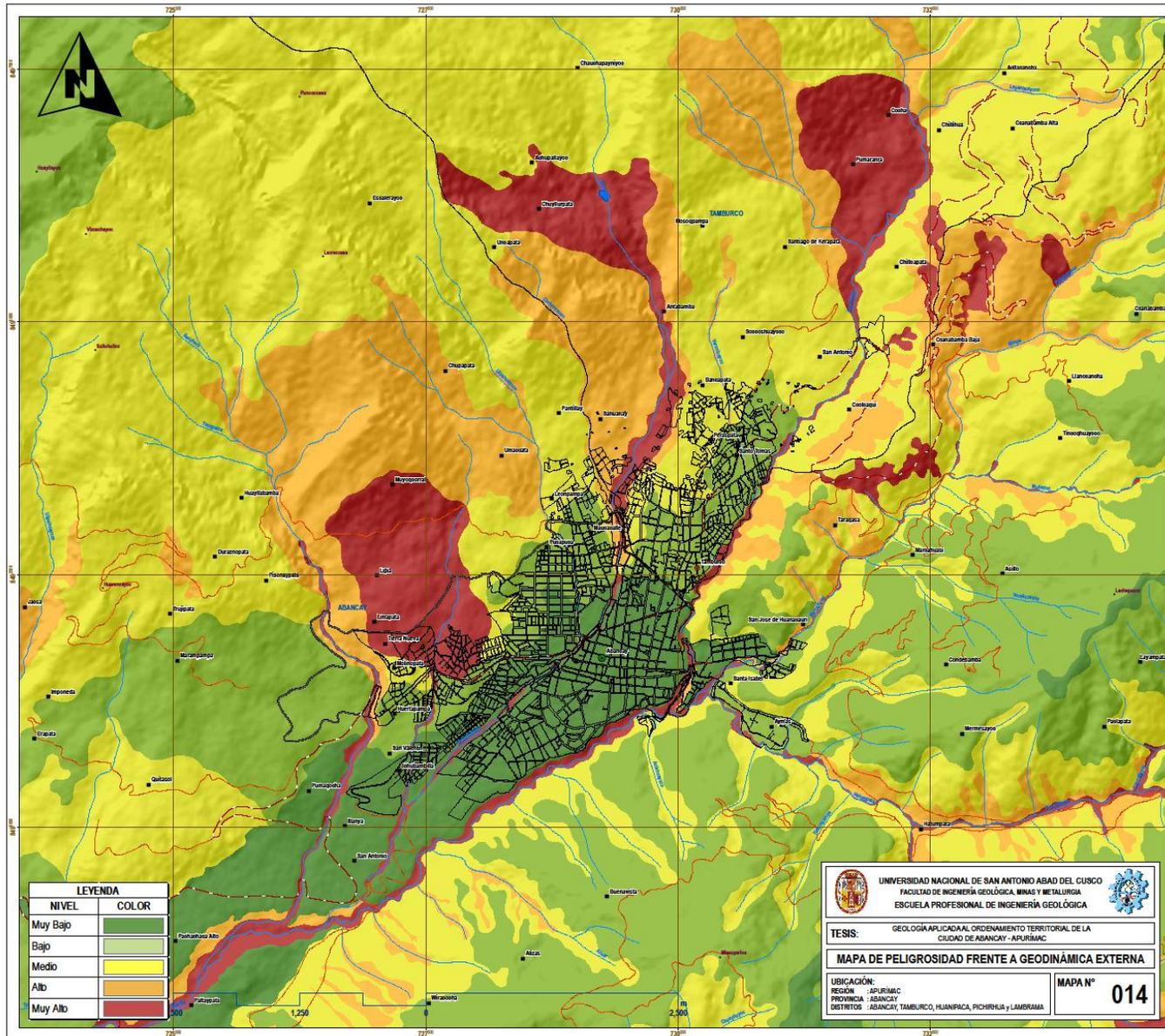


Gráfico 061: Mapa de peligrosidad frente a la geodinámica externa. Fuente: Elaboración Propia.



**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**

**REFERENCIA**

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
 Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1/100 000  
 Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
 Límites Políticos: INEI e Imagen Satelital LANDSAT 8

Proyección y Datum:  
 Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
 Elipsoidal o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
 Zona o Uso Horizontal: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000      Escala de Impresión: 1/25 000

Mapa:  
 Mapa de Peligrosidad a Movimientos en Masa

Elaboración y Diseño de Mapa:  
 Bach. Salazar Gutiérrez, Esau

Fecha:  
 Octubre del 2018

Fuente:  
 Elaboración Propia

**SIMBOLOGÍA**

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- ~ Red Hidrográfica
- Lagunas

**RED VIAL**

- ~ Via Nacional
- ~ Via Regional
- ~ Via Vecinal o Rural
- ~ Via de Evitamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**TESIS:**  
 GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY - APURÍMAC

**MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTE A GEODINÁMICA EXTERNA**

UBICACIÓN:  
 REGIÓN: APURÍMAC  
 PROVINCIA: ABANCAY  
 DISTRITOS: ABANCAY, TAMBURCO, HUAMPACA, PICHIRHUA Y LAMBARAMA

MAPA N° **014**

## CAPÍTULO IX

### PLANES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY

De acuerdo a la geomorfología, pendientes, geología-litología, geología estructural, hidrología, geodinámica externa, peligros hidrometeorológicos, geotecnia y el análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa del presente estudio; se establecieron algunas recomendaciones como medidas, planes y/o proyectos que se deben desarrollar en la ciudad de Abancay, tomando en cuenta además el crecimiento poblacional progresivo y las áreas con proyección a ser urbanizadas, con el objetivo de que dicho crecimiento, a futuro se desconcentre del actual casco urbano y así se cree otra zona urbana planificada.

#### 9.1. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Basado en las estadísticas históricas de la población Abanquina que tiene registrado el INEI, se pudo obtener los datos demográficos de la ciudad desde el año 2000 (Tabla 105), sin embargo, por recopilación de estudios demográficos de la provincia de Abancay y la región Apurímac, pudimos acceder a datos de población de la ciudad con intervalos de 10 años. Cabe precisar que la ciudad de Abancay, contempla dos territorios distritales, que es el distrito de Tamburco y el distrito de Abancay.

POBLACIÓN CIUDAD DE ABANCAY			
AÑO	ABANCAY	TAMBURCO	TOTAL
1940	5332		5332
1961	9620		9620
1972	12647		12647
1981	19863		19863
1993	46997		46997
2000	54750	6450	61200
2001	54930	6647	61577
2002	55046	6848	61894
2003	55180	7054	62234
2004	55307	7264	62571
2005	55426	7480	62906
2006	55543	7700	63243
2007	55657	7927	63584
2008	55766	8154	63920
2009	55856	8392	64248
2010	55928	8632	64560
2011	55991	8875	64866
2012	56046	9123	65169
2013	56085	9374	65459
2014	56103	9628	65731
2015	56093	9884	65977
2016	56283	9876	66159
2017	56652	9856	66508

Tabla 105: Crecimiento poblacional de la ciudad de Abancay, tomando datos históricos del Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI al año 2017. Fuente: INEI.

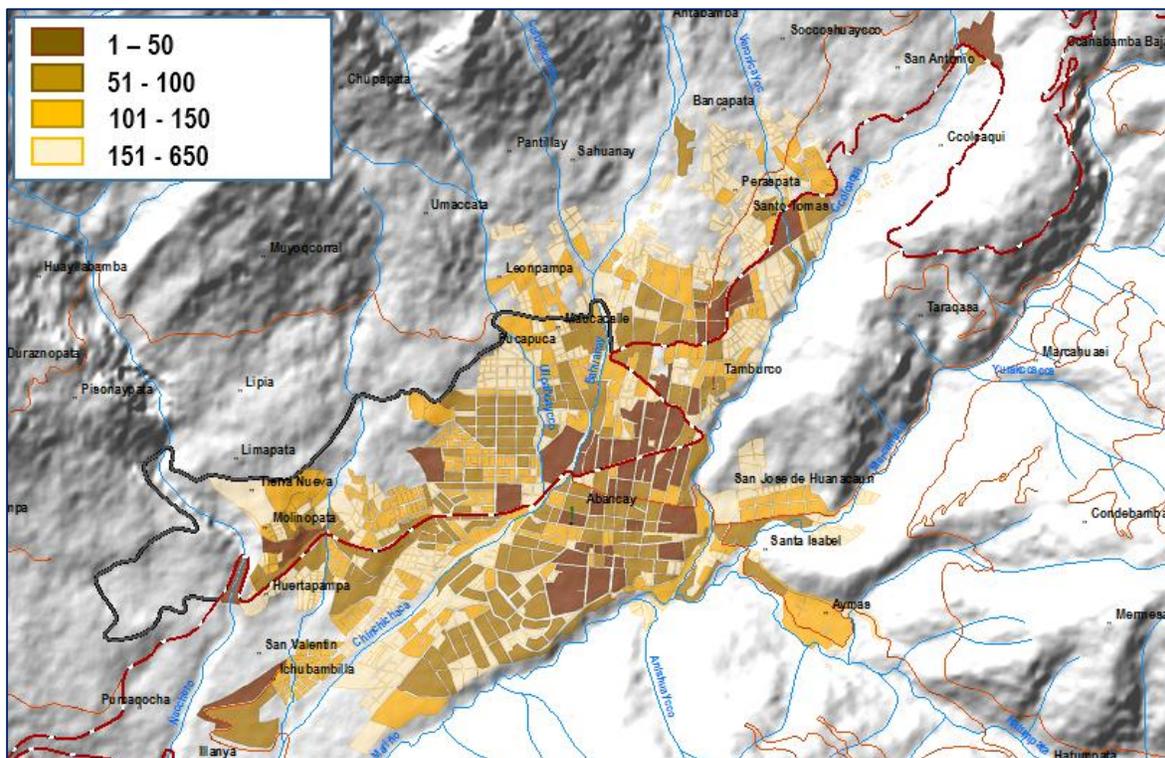


Gráfico 062: Densidad poblacional de la ciudad de Abancay a enero del 2018. Fuente: INEI.

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN ABANQUINA			
AÑO	ABANCAY	TAMBURCO	TOTAL
2017	66 508		66 508
2025	75 867		75 867
2035	85 664		85 664
2040	100 462		100 462
2050	115 259		115 259

Tabla 106: Análisis del crecimiento poblacional de la ciudad de Abancay al año 2050. Fuente: Modificado de INEI.

### 9.1.1. TENDENCIA ACTUAL DE EXPANSIÓN URBANA

La tendencia actual de expansión urbana se ha calculado usando como área, la que requiere la población calculada a futuro para los años 2035 y 2050 y modificada el gráfico por las áreas propicias para la expansión urbana; considerando una distribución de densidad poblacional similar a la actual en las zonas perimetrales y un incremento de densidad en las zonas céntricas de la ciudad, así como las áreas que se vienen lotizando y/o representan proyectos inmobiliarios. Cabe aclarar que se tiene referencias de que la ocupación urbana casi nunca puede ser controlada u orientada por las acciones de la municipalidad, en todas las ciudades del país.

En la gráfica 063, se muestra la expansión urbana, tomada desde 1990 hasta el ideal de poblar las áreas propicias propuestas de expansión al año 2100, modificado a partir de datos del INEI y el Estudio de Ciudades Sostenibles de la Ciudad de Abancay, realizado por el INDECI y el PNUD; por lo que el área de expansión del año 2100, contempla más el área del terreno propicio a ser urbanizado.

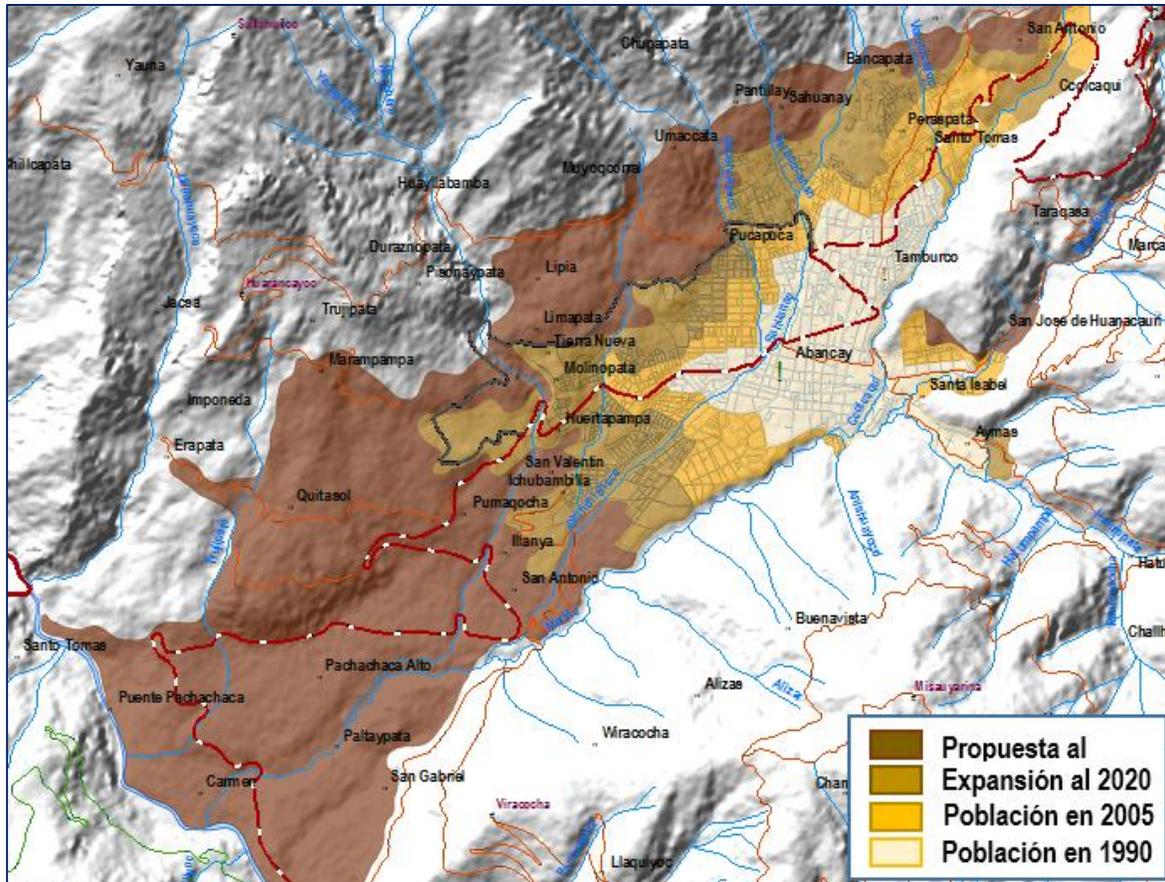


Gráfico 063: Áreas de expansión urbana. Fuente: Elaboración Propia.

### 9.1.2. ÁREAS DE EXPANSIÓN URBANA RECOMENDADA

En base a las áreas que requiere el crecimiento poblacional de la ciudad de Abancay y las zonas identificadas y cartografiadas como altamente peligrosas frente a la geodinámica externa, en el presente capítulo se establecen áreas propicias para la expansión urbana en condiciones de relativa seguridad, las mismas que se presentan en el Mapa de Planes para el Ordenamiento Territorial. Sin embargo, tomando en consideración los gráficos 062 y 063, existe una tendencia a poblar la zona suroeste de la ciudad, en los sectores de Illanya, Quitasol, Pachachaca Alto, San Gabriel y El Carmen, y también el sector nor-este, en los sectores de San Antonio, Kerapata y Peraspata (Gráfico 063).

## 9.2. PLANES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Como aspecto esencial del presente trabajo, de acuerdo a todos los capítulos tratados, como son: Pendientes, Geomorfología, Estratigrafía, Rocas Ígneas y Geología Estructural, Geodinámica, Hidrología, Hidrogeología y Peligros hidrometeorológicos, Geotecnia, y Análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa; llegamos al presente capítulo con el objetivo de recomendar algunos planes y/o proyectos que de ser ejecutados, significarían el principio de un largo, complejo y laborioso proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Abancay; por lo que dichos proyectos, que surgieron no solamente por el análisis de la geología local, sino también de la realidad actual física y socioeconómica de la ciudad; son:

### 9.2.1. LA NUEVA VÍA DE EVITAMIENTO

La actual vía de evitamiento, tiene su recorrido por el borde oeste y norte de la ciudad de Abancay, atravesando así una de las zonas más vulnerables frente a asentamientos, reptación de suelos e inundaciones como lo es el Barrio Fonavi, el sector de Muyoqcorral y Maucacalle, que incluso litológicamente está constituido predominantemente por suelos limoarcillosos. Cabe indicar que las vibraciones producidas por la permanente transitabilidad de vehículos pesados por la actual vía de evitamiento, probablemente también ocasione movimientos de masas de suelo en el sector, el mismo, donde el material superficial se encuentra saturado en los meses de precipitación, ocurriendo incluso pequeños deslizamientos y asentamientos de suelo.

Tomando en consideración el párrafo anterior y una proyección a futuro sobre el crecimiento poblacional, es que planteamos la construcción de una nueva Vía de Evitamiento, el mismo que tenga el recorrido por el borde sur y sur-este de la actual área urbana de la ciudad de Abancay, teniendo como punto de inicio en el sector de Huancor, al sur de Abancay (Grifo Sahuinto), pasando por el borde del río Mariño, por las faldas del cerro Quisapata, atravesando la ciudad en el sector de Condebamba, continuando por el río Marcahuasi y finalmente se uniría a la Carretera Abancay-Cusco en el sector de Ccanabamba Baja.

El planteamiento del proyecto de una nueva vía de evitamiento, es como “Viaducto” (Foto 117), esto con fines turísticos, ya que permitiría a los viajeros observar las riberas y el río mariño, además de parte de la ciudad de Abancay. También se plantea el proyecto como viaducto, debido a que en el sector del Quisapata, por donde tendrá gran parte del recorrido, ocasionalmente se producen caída de rocas y detritos, por lo que un viaducto sería ideal a pesar de su probable gran costo de ejecución.



Foto 117 y Gráfico 064: Propuestas de diseño de construcción de la nueva Vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay.

### 9.2.2. SANTUARIO NACIONAL DEL AMPAY y LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

El Santuario Nacional del Ampay es un área Natural Protegida (ANP), reconocida legalmente el 23 de Julio de 1987 por DS N°042-87-AG, teniendo como objetivo la conservación de un bosque relicto de Podocarpus Glomeratus “Intimpas”, la biodiversidad asociada al mismo, así como las 04 lagunas (Ankasqocha, Uspayccochoa, Tornaccochoa, Willcaccochoa), que se encuentran enmarcadas en las 3635.50 has, reconocidas como área de conservación.

El bosque de Intimpas, es la parte más valiosa de toda la flora nativa del santuario y ocupa una extensión aproximada de 600 has, con unos 60 árboles por hectárea, formando un ecosistema con un gran número de plantas endémicas. Esta especie se encuentra en vías de extinción y es la principal razón por la cual el Ampay (Foto 119) se declara como área protegida. Sin embargo también se tienen importantes reservas hídricas como lo es la laguna Ankasqocha (Foto 118), que se encuentra rodeada por el bosque de intimpas, actualmente se encuentra en un proceso de eutrofización; por otro lado tenemos también la laguna Uspayqocha (laguna grande), laguna Tornaccocha y laguna Willcaccocha. Todas las lagunas se encuentran en el mismo curso hídrico, en la cabecera del río Sahuanay-Chinchichaca, en el sector norte de la ciudad de Abancay.



Foto 118 (Izquierda): Laguna Ankasqocha. Foto 119 (Derecha): Vista del Nevado del Ampay.

Según el Plan Director del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas del Perú (SINANPE), la Zona de Amortiguamiento, responde a los territorios adyacentes a la Áreas Naturales Protegidas, que por su naturaleza y ubicación requieren un tratamiento especial, que garantice la conservación del ANP. La zona de amortiguamiento del santuario nacional, tiene aproximadamente 3689.8 has.

A pesar de que las zonas de amortiguamiento tienen un objetivo común de conservación, el crecimiento poblacional de Abancay, y antes que existieran las Áreas Naturales Protegidas y las Zonas de Amortiguamiento, la población ya tenía actividades agropecuarias en el área de protección en mención, incluso las construcciones de viviendas venían incrementándose. Al día de hoy el crecimiento desordenado de la ciudad de Abancay, ha hecho que los asentamientos humanos y las actividades de los mismos, invadiera gran parte de la Zona de Amortiguamiento y también el Área del Santuario Nacional del Ampay, especialmente en el sector norte y nor-oeste de la ciudad (poblaciones de San Jorge de Chillihua, Ccanabamba, Facchaccocha, Ccorwani, Kerapata, San Antonio, Sahuanay-Antabamba, Moyocorral, Huayllabamba y parte del área urbana de Tamburco).

Por las razones anteriormente descritas, es que la vía de evitamiento no puede ampliarse y/o mejorarse por el sector nor-oeste de la ciudad, ya que implicaría que la población crezca hacia dicho sector e invada aún más la zona de amortiguamiento y el área que represente el santuario nacional del Ampay, además que dicho sector, de acuerdo al análisis de peligrosidad del presente estudio y el mapa de geodinámica externa, tiene una peligrosidad muy alta, ya que se encuentra asentado sobre un deslizamiento rotacional antiguo "Deslizamiento de Muyoqcorral". De ser necesario y como medida radical de frenar el poblamiento hacia el sector nor-oeste y norte de la ciudad, se debería de delimitar las áreas de conservación mediante cercos perimétricos que contrasten con la naturaleza.

### 9.2.3. MANEJO Y RECUPERACIÓN DE QUEBRADAS

En el capítulo de Hidrología, Hidrogeología y Peligros Hidrometeorológicos, mediante las fotografías se evidenció que los cauces fluviales que tienen lugar en el área del estudio, en su mayoría sirven como botaderos de residuos sólidos y desmontes, donde además se percibió el total abandono de dichos cauces por la población y la Municipalidad, ya que muchas veces debido a la invasión de especies forestales, no se puede percibir el curso hídrico o simplemente se pierde infiltrándose en los suelos que la población arroja a los cauces, restringiendo así y sumando un factor desencadenante para la ocurrencia de algún movimiento en masa. Tomando en consideración dicha realidad, es que se plantea un proyecto a desarrollarse en las principales quebradas y/o ríos.

En referencia al manejo y recuperación de los cauces fluviales, toma un contexto diferente el río Mariño respecto a sus demás afluentes, ya que por historia, el río Mariño es un emblema de la ciudad de Abancay, que al día de hoy, al igual que los ríos y quebradas que drenan sus aguas a su cauce, se halla totalmente abandonada y contaminada, es por ello que como un plan de ordenamiento territorial, se plantea realizar un proyecto conjunto que se ensamble con la vía de evitamiento, dicho proyecto contemplaría ejecutar un enrocado en las riberas del río (Gráfico 065 y Foto 12), para que de esta manera contraste con la naturaleza, además se desarrollaría un programa de descolmatación y limpieza de cauce, que sumado al tipo de vía de evitamiento que se plantea construir, le darían a todo el sector sur-oeste de la ciudad, una vista atractiva y un valor turístico a todo el valle fluvial del Mariño.

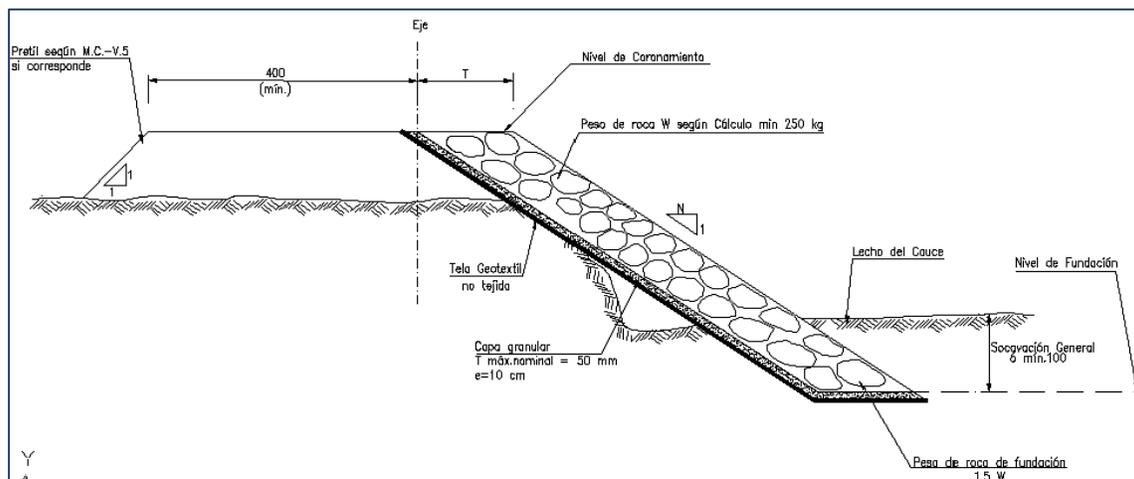


Gráfico 065: Diseño de una protección ribereña mediante un enrocado. Fuente: Aquaterra Ingenieros LTDA, 2009.

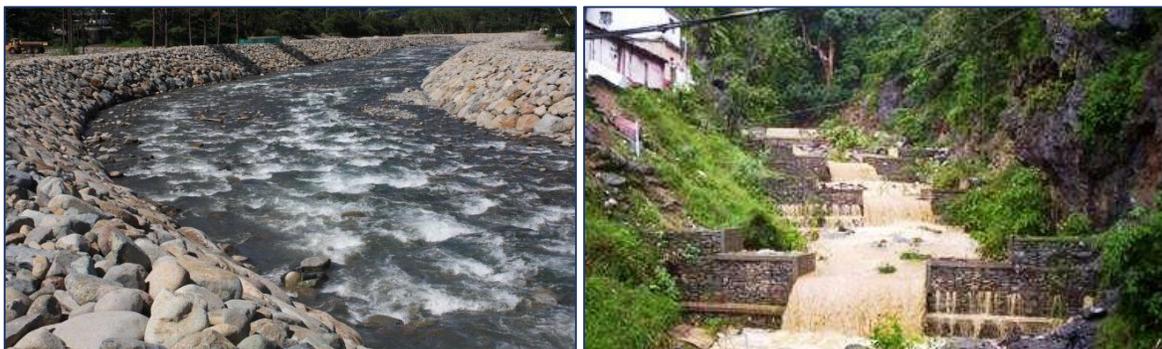


Foto 120 (Izquierda): Muestra de un enrocado en un cauce fluvial. Foto 121 (Derecha): Ejemplo de diques transversales en un río.

Sin embargo, en vista que todos los afluentes del Mariño se hallan en condiciones de abandono absoluto, en ellas, se contempla un plan de descolmatación y limpieza de los cauces y de restringir las urbanizaciones en sus fajas marginales. Pero es conocido que las quebradas de Ñacchero, Sahuanay-Chinchichaca, Ullpahuaycco, Ccolcaqui y Marachuasi, representan cursos hídricos con alto nivel de peligro para la ciudad de Abancay, por lo que en dichos cauces y ante las crecidas extraordinarias, para la prevención y/o mitigación de algunos desastres naturales, se contempla la construcción de diques transversales (Foto 121), con la finalidad de disminuir la velocidad y volumen de los cursos hídricos y los materiales transportados debido a las pendientes sobre la que se sitúan.

#### 9.2.4. SECTOR DE FONAVI

A nivel urbanístico y tomando en consideración la densidad poblacional y el crecimiento de la población abanquina, el sector de Fonavi, sumado al sector de Leonpampa y Muyoqcorral, representan uno de los áreas con mayor peligrosidad, ya que se encuentran establecidos sobre un deslizamiento activo, (Gráfico 066) y así como se pudo tratar en el capítulo de Geodinámica, las viviendas, postes de alumbrado público, veredas y el mismo terreno se hallan con evidentes muestras de asentamientos y reptación de suelos, ya que además a nivel geotécnico es de los sectores que presenta un suelo mayormente limoarcilloso a limoarenoso con características de compactación de material de relleno y/o desmonte, por lo que su capacidad portante es muy baja.

Debido a la evidente existencia de flujo subterráneo, asentamientos y reptación de suelos en el sector en mención, es que se recomienda mediante la municipalidad restringir la cantidad de niveles de construcción de las viviendas o cambiar el tipo de Uso de Suelo de dicha zona, además de inviabilizar definitivamente la construcción de la vía de evitamiento por dicho sector.



Gráfico 066: Muestra la escarpa del deslizamiento de Muyoqcorral (en línea roja), y en azul, se enmarca el barrio Fonavi y los sectores de Leonpampa, Molinopata y Limapata. Fuente: Elaboración Propia en Imagen Google Earth.

### 9.2.5. ABANCAY “LA NUEVA”

Conscientes del real crecimiento urbano de la ciudad de Abancay y de las proyecciones que el INEI arroja respecto al aumento de la población, es que mediante la recopilación de muchos estudios y el análisis realizado de la geología en conjunto, del área de trabajo, proponemos un área propicia para la expansión urbana bien planificada de nuestra ciudad, catalogada como la “Nueva Abancay”, que se ubica en el sector sur-oeste de la ciudad de Abancay (Pachachaca Bajo y Pachachaca Alto), que tiene una superficie aproximada de 568.368 has, similar a la actual superficie poblada de la ciudad de Abancay. Actualmente gran parte del área proyectada a ser urbanizada (Gráfico 067), tiene ocupación agrícola (Foto 123), sin embargo gran parte de dichos áreas son regados con aguas contaminadas, por lo que, los productos obtenidos son dañinos para la salud del consumidor abanquino.

El tema de salubridad de los productos cultivados, es de las principales razones por la que el área proyectada a ser urbanizada, debe progresivamente cambiar su uso de suelo para ser estrictamente de urbanización y de esta manera, ya el Municipio debería de tener un Plan de Catastro Urbano a futuro donde contemple calles de gran longitud y amplias, lotizaciones ideales, parques de diversiones, entre otros aspectos que aseguren una urbanización ordenada y bien planificada, que difiera radicalmente del actual caótico urbanismo de la ciudad de Abancay.

Además, el área donde se piensa poblar la “Nueva Abancay”, sería un lugar más exclusivo, de alto movimiento económico y que descongestione la ruta del monopolio económico que se da en la actual ciudad de Abancay y también tendría el objetivo mayor de ofrecerle a la población Abanquina una mejor calidad de vida y ser un atractivo para vivir.



Gráfico 067: Muestra el área proyectada para desarrollar una urbanización más ordenada y planificada “La Nueva Abancay”, en polígono de color amarillo. Como se observa tiene una superficie considerable en referencia al casco urbano actual de la ciudad de Abancay. Y en polígono rojo, el área proyectada para la “Villa Ribera Abancay”.

### 9.2.6. VILLA “RIBERA PACHACHACA”

Respecto a la tendencia futura de crecimiento de la ciudad de Abancay, existe un área que en la actualidad viene siendo ocupada por actividades de producción, específicamente Plantas de Beneficio No Metálico o Plantas de chancado y clasificación de agregados (Foto 122), los cuales se ubican en la franja este del río Pachachaca. Sin embargo la vida útil de dichos proyectos, no superan los 10 años, por lo que como objetivo principal en el presente estudio, para el área en mención, es darle un Uso de Suelo Residencial, para que dicho sector sea un área de exclusividad de la futura ciudad Abanquina y también dotarle una vista turística en referencia al río Pachachaca, razón por la que en nuestro trabajo denominas el área como “Villa Ribera Pachachaca”.



Foto 122 (Izquierda): Vista de las terrazas fluviales del río Pachachaca, donde se tiene proyectado de acuerdo a nuestro estudio, la “Villa Ribera Pachachaca”. Foto 123 (Derecha): Valle fluvioaluvial del Mariño, área proyectada para la “Nueva Abancay”.

### 9.2.7. LA RUTA DEL CULTIVO “QUISAPATA y MARCAHUASI”

Es junto al proyecto de la vía de evitamiento, el más importante en el corto plazo para la ciudad de Abancay “La ruta del Cultivo”, comprendido por los sectores de Quisapata y Marcahuasi, lugares donde actualmente se realiza una agricultura de subsistencia y para satisfacer un pequeña parte del mercado interno de la ciudad. Sin embargo las áreas libres que se hallan en dichos sectores donde no hay actividades agrícolas son numerosas y de grandes extensiones (Gráfico 068), no trabajadas por falta de infraestructuras de riego, por lo que el dinamizar económicamente dichos sectores, significaría también la elaboración y ejecución de diversos proyectos agrícolas (represamientos de y canales de irrigación) y mejorar las carreteras y vías de acceso en los sectores antes mencionados.

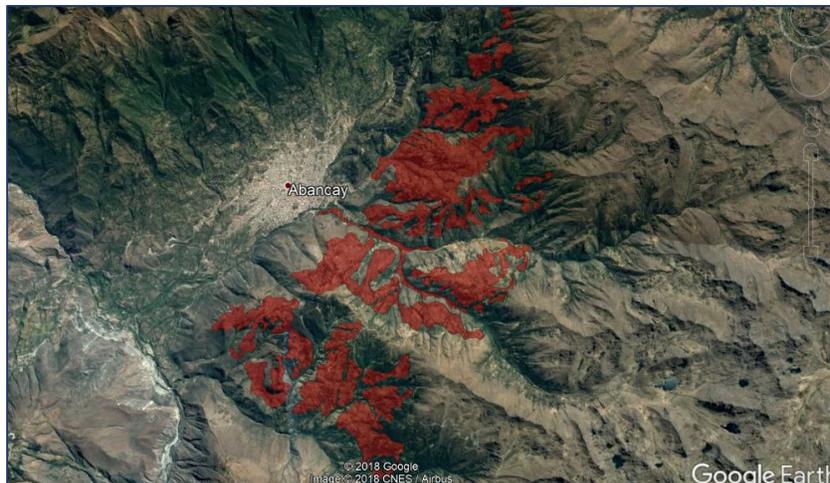
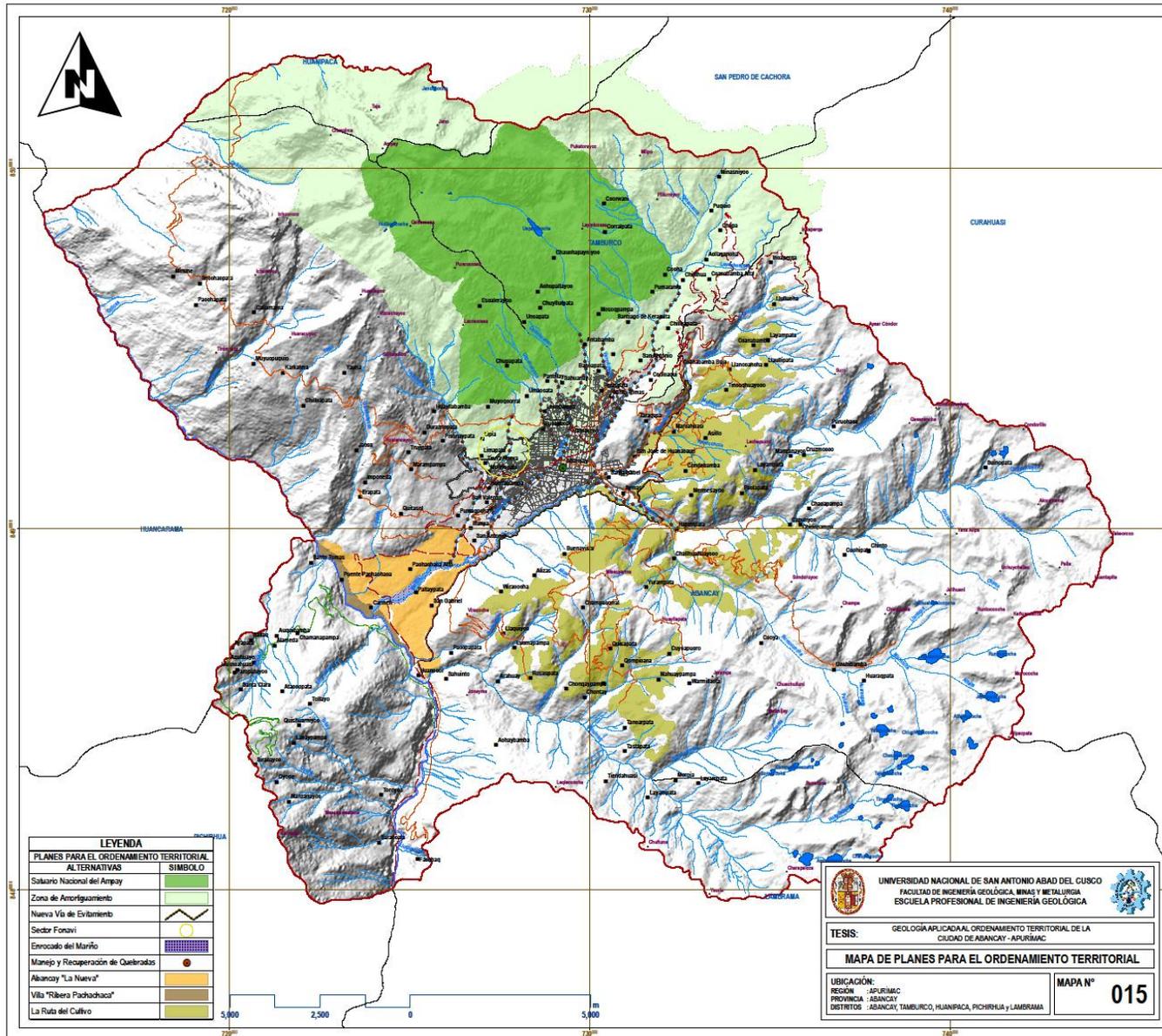


Gráfico 068: En polígonos rojos se muestra el área propuesto para la “Ruta del Cultivo”. Fuente: Elaboración Propia.



**UBICACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL**



**REFERENCIA**

Información Base: Cartas Nacionales IGN 1/100 000  
Cartas Geológicas Nacionales INGEOMET 1/100 000  
Centros Poblados: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI 2007  
Áreas de Cultivo: Imagen Satelital PlanetEye

Proyección y Datum:  
Proyección: Universal Transversa Mercator (UTM)  
Elipsoidal o Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS 84)  
Zona o Uso Horario: 18 Sur

Escala de Análisis: 1/10 000  
Escala de Impresión: 1/70 000

Mapa: Mapa de Planes para el OT  
Código de Mapa: MPOT

Elaboración y Diseño de Mapa:  
Bach. Salazar Gutiérrez, Esai

Fecha: Octubre del 2018  
Fuente: Elaboración Propia

**SIMBOLOGÍA**

- Capital Departamental
- Capital Distrital
- Poblados
- Límite Distrital
- Cerros
- Área de Estudio
- Red Hidrográfica
- Catastro Urbano

**RED VIAL**

- ~ Vía Nacional
- ~ Vía Regional
- ~ Vía Vecinal o Rural
- ~ Vía de Evitamiento

## CONCLUSIONES

1. La ciudad de Abancay, se encuentra en una región natural que oscila entre los 500 - 2500 msnm y de 2500 - 3500 msnm, conocidas como región Yunga y Quechua, respectivamente; donde el punto más alto lo ocupa el Nevado del Ampay, en la región Janca o Cordillera.
2. Climáticamente, de acuerdo a la clasificación de Thornthwaite, la ciudad de Abancay, se encuentra sobre un clima Semiárido o Seco, con nulo o pequeño exceso de agua, megatérmico o cálido, con 30% de verano al año.
3. A nivel de pendientes, Abancay se asienta sobre superficies llanas a ligeramente inclinadas, con una pendiente que oscila de 0 - 4 %, la cual corresponde geomorfológicamente a Terrazas Aluviales Bajas, producto de la gran actividad geodinámica en el pasado.
4. El área de trabajo está marcada por tres dominios geomorfológico-estructurales, la zona norte, comprende un dominio marcadamente Glacio-Estructural, la zona sur y sur-este, un dominio glacial y lacustre y la zona central, donde se halla la ciudad de Abancay, marcada por un dominio fluvioaluvial y coluvial.
5. Se identificaron y cartografiaron las unidades o formaciones geológicas a escala local, describiendo sus características físicas y su estado estructural. Así en el área de trabajo, las rocas van desde edades del Paleozoico al Cuaternario reciente, tomando como rocas más antiguas a las calizas y lutitas del Copacabana, de edad pérmica y culminando en los depósitos cuaternarios.
6. Históricamente, la ciudad de Abancay y la región de Apurímac, no han sido testigos de sismos altamente destructivos, por lo que el área de trabajo, presenta una vulnerabilidad media a baja frente a sismos de gran magnitud, esto debido probablemente a la gran cantidad de estructuras geológicas regional y locales que se presenta en la zona norte, nor-este y nor-oeste de la ciudad de Abancay, como la Deflexión de Abancay o el Arco de Manu, que probablemente se comportan como disipadores de energía.
7. El Nevado del Ampay, constituye el límite sur de la Deflexión de Abancay, razón por la que, en dicha área, existe un sinnúmero de fallas, plegamientos, fracturas y alteración en los buzamientos de las rocas, por lo que se le denominó como "Complejo Estructural del Ampay".
8. El área más importante del área de estudio, comprendido por la ciudad de Abancay, hidrológicamente forma parte de la microcuenca del río Mariño, que a su vez está constituido por microcuencas de segundo orden: Trijipata, Ñacchero, Sahuanay-Chinchichaca, Ccolcaqui, Marcahuasi, Hatumpata y Anishuaycco-Alizar. Los que a su vez son los proveedores de la mayor cantidad de agua para el consumo humano, las actividades agrícolas y de producción de toda la población abanquina. El río Mariño es afluente del río Pachachaca.
9. Se elaboró una Mapa Hidrogeológico, basado en las características litológicas de los afloramientos rocosos del área de trabajo, inventario de manantes y los valores de permeabilidad y conductividad hidráulica teórica de las unidades litológicas. De donde se obtuvo que los acuíferos más importantes son los sedimentarios, que representan las rocas calcáreas del Grupo Copacabana, la Fm Socosani, la Fm. Gramadal y la Fm. Arcurquina; en tanto el Grupo Mitu, es el más importante

como acuífero fisurado, y el Ortogneis de Abancay junto a los intrusivos como los acuitardos más relevantes debido a su extensión y volumen.

10. La configuración actual del relieve de la ciudad de Abancay y sus alrededores, dan a entender sobre su activo pasado geodinámico, por lo que actualmente tenemos importantes áreas donde se evidencian algunos movimientos en masa como son: deslizamientos, reptación de suelos, caídas de rocas y detritos, flujos de detritos y algunos derrumbes.
11. Se identificaron, cartografiaron, cuantificaron y describieron los eventos de geodinámica externa “Movimientos en masa” que se presentan en el área de trabajo; información con el cual se elaboró un mapa de geodinámica externa.
12. Los sectores más críticos, debido a su extensión de los movimientos en masa, historial de ocurrencia y ubicación respecto a la población abanquina son: Muyoqcorral, Leonpampa, Fonavi y Limapata, que se hallan sobre un gran deslizamiento antiguo, el cual se encuentra activo mediante procesos de asentamiento y reptación de suelos. Asimismo tenemos a los sectores de Maucacalle, Sahuanay, Antabamba, Bancapata y todo el casco urbano norte de la ciudad con influencia directa de la quebrada Sahuanay-Chinchichaca, que pueden ser testigos de la ocurrencia de otro flujo de detritos como la que ocurrió en los años 1951 y 2012. Y finalmente tenemos a Ccocha, Pumaranra y la zona nor-este de la ciudad de Abancay, que se encuentran altamente vulnerables ante la ocurrencia de un nuevo deslizamiento.
13. La ciudad de Abancay se encuentra asentada sobre suelos de características mayormente gravosos, hecho que le otorga una cierta confiabilidad de seguridad en referencia a las infraestructuras civiles y viviendas.
14. De acuerdo al análisis de peligrosidad frente a la geodinámica externa, se determinaron áreas propicias para el crecimiento urbano seguro y ordenado de la ciudad de Abancay.
15. Se elaboró un diagnóstico geológico del territorio para determinar las limitantes y deficiencias geológicas que presenta la ciudad de Abancay para un crecimiento urbano y ordenado de su territorio, basado en el análisis de los diversos aspectos físicos de la geología como: Geomorfología, Pendientes, Hidrología e Hidrogeología, Estratigrafía y Rocas ígneas, Geodinámica, Geotecnia y el Análisis de Peligrosidad.
16. En el Capítulo IX “Planes para el Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Abancay”, se proponen diversos proyectos o planes alternativos para la recuperación y manejo de quebradas, así como la proposición de áreas aptas para el crecimiento urbano con proyección a mejorar la calidad de vida de la población abanquina.



## RECOMENDACIONES

Algunas de las recomendaciones más trascendentales, se describen en el capítulo de “Planes para el Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Abancay”, donde, describimos alternativas y/o proyectos como: la construcción de la vía de evitamiento, el santuario nacional del Ampay y la zona de amortiguamiento, proyectos para el manejo y recuperación de quebradas, el sector Fonavi, proyecciones para la ocupación urbana de “Abancay La Nueva”, el área proyectado para la “Villa Ribera Pachachaca” y el dinamizar la “Ruta del Cultivo Quisapata y Marcahuasi”. Sin embargo, dichas alternativas como grandes proyectos suponen muchas acciones a realizarse como recomendaciones:

1. Limitar y/o disminuir la construcción de viviendas en el área de influencia directa del deslizamiento de Muyoqcorral, que abarca principalmente a los sectores de Fonavi y Muyoqcorral.
2. Se debe realizar un estudio más detallado del deslizamiento de Muyoqcorral, donde incluyan estudios de prospección sísmica y tomografía sísmica y un monitoreo constante para determinar el movimiento del terreno y los sectores más críticos.
3. Realizar un encauzamiento de las quebradas de San Luis y Ñacchero, para derivar únicamente las aguas en la quebrada Ñacchero.
4. Las áreas de cultivo en la zona norte, nor-este y nor-oeste de la ciudad de Abancay, deben en su totalidad ser distribuidas por canales de irrigación de concreto para minimizar la infiltración de aguas en el subsuelo y el sistema de riego debe ser similar al de goteo o por aspersión, mas no por gravedad, ya que este último favorece la saturación de los suelos y en consecuencia puede comportarse como un desencadenante para la ocurrencia de un movimiento de masa.
5. Se deben limpiar y descolmatar la totalidad de los cauces del área de estudio, en especial, los cursos hídricos de la microcuenca Mariño, ya que muchos de ellos actualmente son lugares de botaderos de desmontes y de residuos sólidos.
6. En el sector donde se halla el deslizamiento de Ccocha y Pumaránra, también se debe realizar una captación de agua mediante tubos encribados en la base del deslizamiento, además de limitar el crecimiento poblacional hacia dicho zona, y también considerar la descolmatación progresiva mediante un plan adecuado del cuerpo del deslizamiento para su posterior reforestación.
7. En la quebrada Sahuanay-Chinchichaca, considerando la pendiente de este y el historial de ocurrencia de dos flujos de detritos, se debe construir, ampliar y profundizar su cauce, en especial en su nacimiento, en los sectores de Sahuanay, Antabamba y Santuario, además de construir diques transversales para prevenir y/o disminuir los efectos catastróficos de otro posible flujo de detritos.
8. Elaborar un proyecto integral a nivel de una red de drenaje pluvial, adecuado a la pendiente de la ciudad de Abancay, que desaguen o conduzcan las aguas a las redes hídricas de la microcuenca Mariño, para así evitar las inundaciones pluviales en las calles abanquinas.
9. Limitar la construcción de viviendas en las fajas marginales y/o cauces de las principales quebradas de la microcuenca Mariño.
10. Construir muros de encauzamiento a nivel de enrocados o estabilizar los taludes de los cauces mediante muros que no alteren en lo posible el contraste de la naturaleza, para su posterior forestación mediante árboles menores y/o pastos; por lo que no se contempla los muros de contención de concreto armado. Esto, en las quebradas de Ñacchero, Sahuanay-Chinchichaca, Ullpahuaycco, Ccolcaqui, Marcahuasi, Trujipata y Hatumpata.
11. Considerar el sector de Siracayoc, situado al oeste de la ciudad de Abancay, en la Comunidad de Auquibamba, para la construcción de un Relleno Sanitario, ya que geológicamente el sector es propicio.

## GEOLOGÍA APLICADA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC

### BIBLIOGRAFÍA

- Félix, C. y Rodríguez, V. (2012). *Tipos y Niveles de Investigación Científica*. Ciudad de México.
- Ávila, R. (2001). *Metodología de la Investigación “Cómo elaborar la Tesis y/o Investigación”*. Lima: Estudios y Ediciones R. A.
- Polit Denise, F. y Hungler, P. (1985). *Investigación Científica en Ciencias de la Salud*. Ciudad de México: Nueva Edit Interamericana SA de CV.
- Dirección de Gestión de Procesos (2015). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Inundaciones Fluviales*. Lima: CENEPRED.
- Dirección de Gestión de Procesos (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales-2da Versión*. Lima: CENEPRED.
- Castro, W. (2010). *Geomorfología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas*. Chachapoyas: Gobierno Regional de Amazonas.
- Ávila, R. (1997). *Introducción a la Metodología de la Investigación “La Tesis Profesional”*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- García, F. (2005). *La Tesis y el Trabajo de Tesis*. Ciudad de México: Limusa Norilga Editores.
- Condori, E. (2016). *Tesis de Pregrado “Evaluación Hidrogeológica de la Microcuenca Mariño - Apurímac”*. Puno: Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Universidad Nacional del Altiplano.
- Programa de Ciudades Sostenibles (2007). *Mapa de Peligros de la ciudad de Abancay*. Abancay: Instituto Nacional de Defensa Civil y Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Cuchillo, M. y Huayta, M. (2014). *Tesis de Pregrado “Susceptibilidad a movimientos en masa en la quebrada Chinchichaca - Abancay”*. Cusco: Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Loayza, A. (2011). *Tesis de Pregrado “Estudio Geodinámico de la Zona de Fonavi-Bellavista-Abancay”*. Cusco: Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Pulido, A. (2007). *Nociones de Hidrogeología para Ambientólogos*. Almería: Ed. Universidad de Almería.
- Bolaños, A. y Monroy, O. (2004). *Tesis para optar el Título de Magíster en Ingeniería Civil “Espectros de peligro sísmico uniforme”*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Moreno, M. (2004). *Memoria para optar al Título de Geólogo “Dinámica del Antearco Externo en la zona del Bloque de Arauco 37° - 38° S, Octava Región - Chile”*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Dalmayrac, B. (1986). *Estudio geológico de la Cordillera Oriental, región Huánuco*. Lima. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú. Boletín Serie D.
- Carlotto, V. (1998). *Magmatismo y Estructuras Cenozoicas en el Altiplano Sur Peruano: Implicancias geodinámicas*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., LaTorre, O. e Ibarra, I. (2005). *Fallas Transformantes Permo-Triásicas: La Falla Patacancha-Tamburco - Sur del Perú*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- Medina, J. (1989). *Fenómenos Geodinámicos*. Lima: ITDG.
- Valderrama, P. y Villacorta, S. (2012). *Evaluación del flujo de detritos de Tamburco. Informe Técnico N°A6595*. Lima: DGAR-INGEMMET.

- Carlotto, V., Cárdenas, J., Tintaya, D., Rodríguez, R. y Valdivia, W. (2005). *Altos Estructurales en el control de la Evolución Andina: La Deflexión de Abancay y el Arco de Manu*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- Consorcio Ampay (2014). *Estudio de Impacto Ambiental de la instalación del Servicio de protección y control de inundaciones y huaycos en las localidades de Sahuanay Alta y Baja, Pantillay, Maucacalle y El Arco; distrito de Tamburco, provincia de Abancay - Apurímac*. Abancay: Municipalidad de Tamburco.
- Huamán, D. (2013). *Peligro de deslizamiento en el Nevado Ampay, el caso de inestabilidad de masa en la quebrada Sahuanay*. Arequipa: Foro Internacional de Peligros Geológicos.
- Merma, A. y Paredes, J. (2014). *Tesis de Pregrado "Mitigación de los daños producidos por el deslizamiento del cerro Chuyllurpata durante los meses de crecida"*. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Ñaupas, H. y Amézquita, A. (1996). *Reconocimiento geomorfológico, geológico y geográfico de Abancay y su Hinterland*. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Bellido, E. (1969). *Sinopsis de la geología del Perú*. Lima: Instituto de Geología y Minería.
- Morocco, R. (1972). *Geología de los Cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas*. Lima: Instituto de Geología y Minería.
- Ñaupas, H. (1984). *Geografía Física y Humana del Perú*. Lima: Universidad San Martín de Porres.
- Silgado, E. (1975). *Historia de los sismos más notables en el Perú (1512 - 1974)*. Lima: Instituto de Geología y Minería.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Gutiérrez, M. (2001). *Geomorfología climática*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- González de Vallejo L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.

#### ENLACES WEB:

- [www.ign.gob.pe](http://www.ign.gob.pe)
- [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- [www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)
- [www.igp.gob.pe](http://www.igp.gob.pe)
- [www.cienciaperu.org](http://www.cienciaperu.org)
- <http://sinpad.indeci.gob.pe/PortalSINPAD>
- <http://fdetonline.com/aguas-subterranas-acuiferos>



## GLOSARIO

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se analiza los factores de exposición, fragilidad y resiliencia en función al nivel de peligrosidad determinada; se evalúa el nivel de vulnerabilidad de la unidad física, social o ambiental evaluada.

**CUENCA HIDROGRÁFICA:** También denominado cuenca de drenaje; es el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

**DESASTRES:** Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando de la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por la acción humana.

**DESARROLLO SOSTENIBLE:** Proceso de transformación natural, económico, social, cultural e institucional, que tiene por objeto asegurar el mejoramiento de las condiciones de vida del ser humano, la producción de bienes y prestación de servicios, sin deteriorar el ambiente natural ni comprometer las bases de un desarrollo similar para las futuras generaciones.

**DETERMINACIÓN DE PELIGROS:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se identifica y caracteriza los peligros, se evalúa la susceptibilidad de los peligros, se define los escenarios, se determina el nivel de peligrosidad y se elabora el Mapa del Nivel de Peligrosidad.

**ELEMENTOS EN RIESGO O EXPUESTOS:** Es el contexto social, económico y ambiental presentado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno.

**FENÓMENO DE ORIGEN NATURAL:** Es toda manifestación de la naturaleza que puede ser percibido por los sentidos o por los instrumentos científicos de detección. Se refiere a cualquier evento natural como resultado de su funcionamiento interno.

**INDICADOR:** Expresión cuantitativa y/o cualitativa que permite observar, describir y evaluar los diferentes aspectos de una situación actual, formular situaciones deseadas o comparar una situación común con una relación a una situación deseada, ayudando en la toma de decisiones.

**INFRAESTRUCTURA:** Es el conjunto de estructuras de ingeniería e instalaciones, con su correspondiente vida útil de diseño, que constituyen la base sobre la cual se produce la prestación de servicios considerados necesarios para el desarrollo de fines productivos, políticos, sociales y personales.

**LINEAMIENTOS TÉCNICOS:** Son aquellos documentos que describen las etapas, fases, pautas y formatos necesarios para desarrollar actividades o tareas técnicas específicas. Se emiten para particularizar o detallar acciones que derivan de un ordenamiento de mayor jerarquía como una ley, u código, un reglamento, un decreto, entre otros. Los lineamientos técnicos se desarrollan en base al



campo de acción sobre el cual tendrán injerencia. Así mismo, muestran los límites de aplicación, responsabilidades y funciones de las instituciones involucradas.

**MAPA TEMÁTICO:** Son representaciones sobre el papel de las características de algún tema en particular, apoyado sobre una base topográfica en donde se resalta, mediante la utilización de diversos colores y recursos de las técnicas cartográficas, correlaciones, valoraciones o estructuras de distribución de, por ejemplo: Viviendas, obras de infraestructura, caminos, áreas seguras, etc.

**MEDIDAS ESTRUCTURALES:** Cualquier construcción física para reducir o evitar los riesgos o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a los peligros.

**MEDIDAS NO ESTRUCTURALES:** Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para prevenir o reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación.

**MONITOREO:** Proceso de observación y seguimiento del desarrollo y variaciones de un fenómeno, ya sea instrumental o visualmente, y que podría generar un desastre.

**ORDENAMIENTO TERRITORIAL:** Es una política de Estado, un proceso político y técnico administrativo de toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos, políticos y técnicos, para la ocupación ordenada y uso sostenible del territorio, la regulación y promoción de la localización y el desarrollo sostenible de los asentamientos humanos; de las actividades económicas, sociales y el desarrollo físico-espacial sobre la base de la identificación de potencialidades y limitaciones, considerando criterios ambientales, económicos, socioculturales, institucionales y geopolíticos. Asimismo, hace posible el desarrollo integral de la persona como garantía para una adecuada calidad de vida.

**PELIGRO:** Probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos.

**PELIGRO INMINENTE:** Fenómeno de origen natural o inducido por la acción humana, con alta probabilidad de ocurrir y de desencadenar un impacto de consecuencias significativas en la población y su entorno de tipo social, económico y ambiental debido al nivel de deterioro acumulado en el tiempo y que las condiciones de éstas no cambian.

**PLAN.** Instrumento diseñado para alcanzar determinados objetivos, en el que se definen en espacio y tiempo los medios utilizables para lograrlos. En él se contemplan en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas, así como los instrumentos y acciones que se utilizarán para llegar a los fines deseados. Un plan es un instrumento dinámico sujeto a modificaciones en sus componentes, en función de la periódica evaluación de sus resultados.

**PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL:** Instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento de un territorio, constituido por un conjunto de objetivos, directrices, políticas, metas, estrategias, programas y normas para orientar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.



**PREDIOS:** Bienes inmuebles referidos al suelo, subsuelo y sobresuelo, que están delimitados y tienen un área determinada, que puede ser vivienda o unidad habitacional, terreno o unidad inmobiliaria y otros.

**PREVENCIÓN:** Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se orientan a evitar la generación de nuevos riesgos en la sociedad en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible.

**REDUCCIÓN:** Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se realizan para reducir las vulnerabilidades y riesgos existentes en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible.

**RESILIENCIA:** Capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, las actividades económicas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados para protegerse mejor en el futuro.

**VULNERABILIDAD:** Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, fragilidad y resiliencia. Se expresa en términos de 0 a 1.

**Fuente:** *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales-CENEPRED, 2014.*