

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



**“DETERMINACIÓN DE LOS ASPECTOS HIDROLÓGICOS E
HIDROGEOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RIO
CCOCHAPUNQO EN LA PROVINCIA DE ANTA”**

PRESENTADA POR:

Bach. PIERO OMAR HUARCAYA

FERNANDEZ BACA

Bach. JIMMI VILLALBA VELASQUE

TESIS PARA OPTAR EL TITULO

PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR:

ING. MGT. JUAN CARLOS ASCUE CUBA

CUSCO – PERU

2016



INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1 RESUMEN.....	1
1.2 INTRODUCCIÓN.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.5 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	6
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	
1.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	7
1.7 HIPÓTESIS.....	7
1.8 METODOLOGIA.....	7
1.8.1 SISTEMA DE REGISTRO ESCRITO, GRÁFICO Y FOTOGRÁFICO..	8
1.8.2 ETAPAS DE DESARROLLO DE TRABAJO.....	9
1.9 ANTECEDENTES.....	13
1.10 UBICACIÓN.....	13
1.11 DELIMITACIÓN.....	17
1.12 ACCESIBILIDAD.....	17
1.13 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA.....	18
1.14 AREA Y ALTITUD.....	23
CAPITULO II. GEOMORFOLOGÍA Y FISIOGRAFIA	24
2.1 GENERALIDADES.....	24
2.2 TOPOGRAFÍA Y OROGRAFÍA.....	24
2.3 GEOMORFOLOGÍA.....	25



2.3.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	26
2.3.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	31
2.4 FISIOGRAFIA.....	33
2.5 PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS.....	34
2.5.1. ORDENAMIENTO TOPÓLOGICO DE CUENCA.....	34
2.5.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	35
2.5.2.1. SUPERFICIE.....	36
2.5.2.2. ELEMENTOS DE DISTANCIA.....	36
2.5.2.3. ELEMENTOS DE FORMA DE LA MICROCUENCA.....	37
2.5.2.4. ELEMENTOS DE RELIEVE DE LA MICROCUENCA.....	40
2.5.2.5. DECLIVIDAD DE ALVEOS.....	42
2.5.2.6. DRENAJE.....	45
CAPITULO III. GEOLOGÍA GENERAL.....	48
3.1 INTRODUCCIÓN.....	48
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	48
3.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	49
3.3.1 FORMACION MARAS.....	49
3.3.2 FORMACION VILQUECHICO.....	50
3.3.3 FORMACION QUILQUE.....	52
3.3.4 FORMACION AUSANGATE.....	53
3.3.5 FORMACION KAYRA.....	54
3.3.6 FORMACION MUÑANI.....	54
3.3.7 FORMACIÓN SONCCO MIEMBRO II.....	56
3.3.8 FORMACION CHINCHERO.....	58
3.3.9 FORMACION RUMICOLCA.....	59



3.3.10 FORMACION SAN SEBASTIAN.....	59
3.3.11 DEPOSITOS COLUVIALES.....	60
3.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y TECTONICA REGIONAL.....	66
3.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y TECTONICA LOCAL.....	68
CAPITULO IV. HIDROLOGÍA.....	70
4.1 INTRODUCCIÓN.....	70
4.2 DRENAJE.....	71
4.2.1 RÍO CCOCHAPUNQO.....	71
4.2.2 RÍO CCASACUNCA.....	72
4.2.3 RÍO CACHIMAYO.....	72
4.2.4 RÍO HUAROCONDO.....	72
4.3 HIDROMETEOROLOGÍA.....	72
4.3.1 METEOROLOGÍA.....	72
4.3.2 TEMPERATURA.....	73
4.3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	76
4.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	78
4.5 TRATAMIENTO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS.....	57
4.6 PRECIPITACIÓN.....	81
4.6.1 GENERALIDADES.....	81
4.6.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	82
4.6.3 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.....	86
4.7 CAUDAL.....	93
4.7.1 DETERMINACIÓN DEL FLUJO BASE DE LA CUENCA CCOCHAPUNQO.....	93
4.7.2 RESULTADO DE MEDICIONES MANUALES DEL FLUJO.....	94
4.7.3 RESULTADOS EN EPOCA SECA.....	94



4.7.4 RESULTADOS EN ÉPOCA HÚMEDA.....	95
4.7.5 ANÁLISIS DE CAUDALES.....	95
4.7.6 ESCORRENTÍA.....	96
4.7.7. CAUDAL MÍNIMO.....	97
4.7.8. CAUDAL MÁXIMO.....	98
CAPITULO V. HIDROGEOLOGÍA.....	98
5.1 INTRODUCCIÓN.....	98
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROGEOLÓGICO.....	100
5.2.1 ACUÍFEROS.....	100
5.2.2 ACUITARDOS.....	101
5.2.3 ACUICLUDOS.....	101
5.2.4 ACUÍFUGOS.....	101
5.3 TIPOS DE ACUÍFEROS.....	102
5.3.1 ACUÍFEROS POROSOS SEMI-CONSOLIDADOS.....	102
5.3.2 ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS.....	103
5.3.3 ACUÍFEROS FISURADOS.....	103
5.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	103
5.4.1 POROSIDAD.....	104
5.4.2 PERMEABILIDAD.....	106
5.5 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.....	113
5.6 UNIDADES GEOHIDRICAS.....	115
5.6.1 ACUÍFEROS.....	115
5.6.2. ACUITARDOS.....	118
5.6.3. ACUICLUDOS.....	119
5.6.4. ACUIFUGOS.....	119



5.7 ALMACENAMIENTO.....	119
5.8 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS HIDROQUIMICAS.....	120
5.9 BALANCE HÍDRICO.....	123
CAPITULO VI. GEODINAMICA.....	124
6.1 GEODINAMICA EXTERNA.....	124
6.1.1 FACTORES.....	125
6.1.2 PROCESOS DE EROSIÓN.....	125
6.1.3 MOVIMIENTOS EN MASA.....	126
6.2 GEODINAMICA INTERNA.....	128
6.3 ZONIFICACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO.....	135
CAPITULO VII. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.....	139
7.1. LINEA DE BASE AMBIENTAL.....	139
7.2. ENTORNO FÍSICO.....	139
7.3. ENTORNO SOCIOECONÓMICO.....	142
7.3.1. POBLACIÓN.....	142
7.3.2. ECONOMIA.....	143
CAPITULO VIII. DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	145
8.1. FACTORES AMBIENTALES POTENCIALMENTE IMPACTADOS...	145
8.1.1. RECURSO HÍDRICO.....	145
8.1.2. RECURSO SUELO.....	146
8.1.3. FLORA Y FAUNA.....	147
8.2. IDENTIFICACIÓN, VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALE.....	147



8.2.1. DESCRIPTORES GENERALES DE IMPACTO.....	147
8.3. IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	150
8.3.1. MÉTODO DE CHECK LIST.....	150
8.3.2. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DEL IMPACTO.....	151

CONCLUSIONES

RECOMEDACIONES

BIBLIOGRAFIA



CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. RESUMEN

El desarrollo económico, social y ambiental de los pobladores del Distrito de Pucyura - Anta, así como de la comunidad Juan Velasco Alvarado ubicada en Pucyura es de gran importancia; debido a los últimos años secos y la irregularidad de las precipitaciones en la zona se produjeron situaciones de merma en el acceso al recurso hídrico, cuyos beneficiarios denunciaron consecuentemente pues sus actividades económicas se vieron afectadas negativamente además de evidenciarse el drástico cambio en el caudal del río Ccochapunqo-Cullomayo y sobretodo en el aporte de las surgencias durante época seca.

En la zona el recurso hídrico está altamente interrelacionado con el potencial acuífero de las ocurrencias geológicas por las que discurre y se infiltra. Se hace una descripción de las características geomorfológicas (longitud axial, extensión de la cuenca, etc) y las características hidrológicas e hidrogeológicas de la microcuenca (Factor de forma, coeficiente de escorrentía, precipitación media, permeabilidad, etc).

Este estudio presenta los resultados de aforos directos tomados en el río Ccochapunqo así como de las surgencias



acuíferas que dan origen al mismo, además se exponen los resultados de los ensayos de laboratorio para permeabilidad y porosidad. Para

establecer una correlación entre los cuerpos subterráneos de agua y el material litológico se analizan las características catiónicas e iónicas de las muestras de agua tomadas en la cabecera y la parte media del río.

Se presentan así una serie de análisis pluviométricos e geohidráulicos con el objetivo de determinar los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos de la zona de estudio para eventualmente determinar una consistente línea de base ambiental sobre la cual proyectar cualquier intervención antrópica.

1.2. INTRODUCCIÓN

El presente estudio intitulado “DETERMINACIÓN DE LOS ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLOGÍCOS DE LA CUENCA DEL RIO CCOCHAPUNQO EN LA PROVINCIA DE ANTA” se realizó con el fin de fortalecer una línea de base para un posible abastecimiento del recurso hídrico para las comunidades campesinas de la zona, y aledañas a dicha microcuenca, ubicada en la Provincia de Anta. Se realizó una evaluación del potencial hídrico que la microcuenca pone a disposición y es de interés Distrital; por ende susceptible de ser gestionado-regulado mediante estructuras de represamiento.

Para tal efecto se hizo una evaluación y posterior correlación de los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos para determinar el régimen hidrológico del río principal (Ccochapunqo-Cullomayo) y de sus quebradas afluentes, así como de los posibles acuíferos (período



de recarga, tiempo de concentración, tiempo de descarga). Los resultados del estudio podrán ser utilizados como criterio para las diferentes propuestas de afianzamiento hídrico de la microcuenca en el actual contexto de inminente cambio climático.

Hoy en día es justamente esta disponibilidad del recurso hídrico para el próximo período, motivo y materia de diversas investigaciones y estudios; el actual cambio climático no nos resulta ajeno y por el contrario, afecta directamente al comportamiento del fenómeno hidrológico en la zona de trabajo. Las metodologías más comunes basadas en estadística aplicada estas siendo revisadas y las tendencias sobre el horizonte climático están variando. Hasta el día de hoy existen limitadas propuestas y pocas instituciones como la IAHR (International Association of Hydro-Environmental Engineering and Research), CEPAL (Consejo Económico para América Latina) y PACCPERÚ (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático) en colaboración con SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) que han realizado propuestas sobre hipotéticos horizontes climáticos adaptados a nuestra región Latinoamericana como los modelos paleoclimáticos de la IAHR y la Caracterización Climática y Escenarios de Cambio Climático al 2030 y 2050 y Oferta Hídrica Superficial Actual y Futura de las Regiones Cusco y Apurímac del PACC en colaboración con SENAMHI.

Se ha evaluado la zona de trabajo tomando particular interés en el análisis de comportamiento y recurrencia de los ciclos hidrológicos húmedos, promedio, secos y en especial el comportamiento climatológico de los últimos veinte años en el sur del país y de forma regional la tendencia en el hemisferio sur de esta parte del subcontinente Latinoamericano.



1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La variación del clima en la región del Cusco, en el marco del evidente cambio climático, con sus cambios en la distribución de la precipitación durante el año (principalmente en el período 1990-2013); además de la cada vez mayor concentración demográfica y la interacción antrópica que deviene plantean la necesidad de adaptar la infraestructura del poblado de Pucyura-Anta para fomentar la productividad de la zona. En ese sentido se plantea la determinación de las propiedades hidrológicas e hidrogeológicas de la micro-cuenca del río Ccochapunqo, Provincia de Anta con fines de abastecimiento y producción.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Consecuentemente surgen las incertidumbres respecto del Potencial Hídrico de la cuenca, así como sobre la Demanda tendente al crecimiento: ¿Podrán las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la cuenca abastecer la creciente demanda en el poblado de Pucyura Provincia de Anta?

Determinar los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos es clave para resolver la pregunta planteada y dependerá en gran medida del conocimiento de los factores meteorológicos, principalmente de la variable hidrológica (temperatura media anual, precipitación media anual, p. máxima media anual, p. mínima media anual, precipitación efectiva) y su distribución dentro la micro-cuenca (caudal medio anual, caudal máximo, caudal mínimo, retención de la cuenca) que se efectuará a través de pruebas de campo como aforos en diferentes puntos de la micro-cuenca y de recopilación, corrección y análisis estadístico de datos tomados de registros pluviométricos para luego realizar una caracterización hidrográfica (definiendo variables como área hidrográfica, pendiente de los terrenos, superficie total, superficie



total de drenaje, factor de forma, longitud del curso principal, pendiente del curso principal, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje, orden de bifurcación de los ríos, frecuencia de los ríos, tiempo de concentración, etc.) utilizando herramientas de imagen satelital (LANDSAT) y de geoposicionamiento (ArcGis). Se necesitará determinar también las propiedades geohídricas (porosidad, coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, conductividad hidráulica, transividad, caudal específico, etc.) para conocer el comportamiento de los cuerpos rocosos distribuidos en la micro-cuenca y alrededores (Formación, Grupo) con el agua de precipitación y eventualmente posibles acuíferos aledaños (acuífero, acuitardo, acuícludo, acuífugo), así como de las propiedades físico-químicas del agua (conductividad, constituyentes mayoritarios, constituyentes minoritarios, trazas de agua subterránea, total de sólidos disueltos, pH, dureza) a través del manejo del resistivímetro y la toma y análisis de muestras (agua superficial y subsuperficial) para su clasificación y eventual tratamiento.

Se efectúa esta metodología para obtener una cuantificación de los recursos hídricos disponibles en la micro-cuenca, hidrográfica e hidrogeológicamente y poder realizar un balance hídrico haciendo uso de software de modelamiento hidrogeológico (MODFLOW) para ser más factible una eventual propuesta de construcción de una reserva de aguas para la producción agrícola y el abastecimiento a los poblados de Pucyura – Anta con proyección a las variaciones en la distribución de las precipitaciones producto de la mayor frecuencia del fenómeno del niño en los próximos años.



1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la micro cuenca Ccochapunqo en la Provincia de Anta que contribuirá una gestión del recurso hídrico para el abastecimiento de los poblados de Pucyura – Anta, adaptada a las nuevas circunstancias del cambio climático.

1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar los factores climáticos, tipo de clima y zona de vida para la micro-cuenca Ccochapunqo.
- Determinar los elementos geomorfológicos de la micro-cuenca.
- Determinar las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas actuales en la zona.
- Determinar los usos y calidades actuales del agua en la zona.
- Estimar los recursos hídricos disponibles en la zona.
- Determinar el Balance Hídrico.



1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La variación del clima en la región del Cusco, en el marco del evidente cambio climático, con sus cambios en la distribución de la precipitación durante el año (principalmente en el período (1990-2013), la falta de registros hidrodinámicos para un mínimo conocimiento del desarrollo de los cursos de agua (estacionarios o constantes) dentro de la micro-cuenca durante el año; además de los efectos de la interacción antrópica plantean la necesidad de adaptar la infraestructura del poblado de Pucyura-Anta para amortiguar el impacto ambiental en términos de productividad en los próximos años.

1.7. HIPOTESIS

El estudio de las propiedades y condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la micro-cuenca determinará los aspectos resaltantes de la hidrodinámica dentro de la cuenca hidrográfica tanto como la cuenca hidrológica, a lo largo del año, para una posible gestión del recurso hídrico en función del cambio climático y el posible riesgo de disminución del potencial hídrico de las unidades hidrogeológicas que esto conlleve.

1.8. METODOLOGÍA

Los trabajos de caracterización e inventario geológico y geodinámico como procedimiento metodológico permitieron realizar trabajos de identificación, evaluación y mapeo, para lo que se emplearan los métodos Inductivo y Deductivo así como el Comparativo.

De acuerdo al enfoque metodológico sobre este planteamiento se efectuaron diseños cuantitativos y cualitativos así como mixtos y combinados tomando en consideración los objetivos del presente



trabajo que se sustentan en diseños exploratorios, descriptivos, explicativos y evaluativos.

La metodología empleada esta complementada con técnicas como el sistema de registro y etapas desarrolladas en el campo y gabinete:

1.8.1. SISTEMA DE REGISTRO ESCRITO, GRÁFICO Y FOTOGRÁFICO

- En el registro escrito. Tiene el propósito de coleccionar información precisa de la forma más adecuada a través de fichas de campo, sobre los aspectos de recursos naturales, tipos de litología, fenómenos particulares de cada litología, características estructurales principales, fenómenos geodinámicos, caudales de los ríos y ojos de agua, etc. dentro de los cuales se tomó información Primaria sobre sus diferentes características. Es decir, se registraron los aspectos Geológicos, Geomorfológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos y Geodinámicos en relación a las zonas de actividad antrópica ligadas al recurso hídrico.
- En el registro fotográfico. Se efectuó a través de una ficha en el que se detallan la descripción y coordenadas UTM, con la ayuda de un GPS, del punto donde fue tomada la foto.
- En el registro gráfico. Se efectuaron, en base cartográfica, los mapeos respectivos sobre los aspectos geológicos utilizando como referencia las cartas nacionales del IGN y cartas geológicas del INGEMMET; priorizando las unidades terciarias, los afloramientos hídricos, los fenómenos estructurales presentes, y las zonas de fenómenos geodinámicos, con la ayuda de un navegador GPS, brújula,



lupa petrográfica, picota de geólogo, etc. Todas las informaciones recogidas del campo han sido procesadas en forma sistemática y digitalizada en una base de datos.

1.8.2. ETAPAS DE DESARROLLO DEL TRABAJO

Precampo

Corresponde a la recopilación de los fundamentos teóricos de exploración Geológica, hidrológica e hidrogeológica y modelamiento de sistemas de agua subterránea, además de los antecedentes de la zona de estudio (geología, geomorfología, hidrología, clima, etc.)

Se recopilaron datos e información bibliográfica, seguidamente se elaboró un mapa parlante, se hicieron consultas bibliográficas que devinieron en el desarrollo del plano base que contenía una previa interpretación geológica. Se realizó además de la fotointerpretación para el aspecto estructural, hidrológico y geodinámico; todo esto a partir del uso de imágenes satelitales Landsat TM7 de 30 m de resolución con 7 bandas. En esta etapa se utilizó de referencia principal la red hidrográfica explícita en las cartas nacionales del IGN, así como la red vial del IGN y el Mapa Geológico base de la Región Cusco del Instituto Nacional Geológico Minero Metalúrgico del Perú, INGEMMET, otros.

Campo

Planificación y recopilación de datos en campo mediante el mapeo geológico-estructural, mapeo hidrológico y mapeo geodinámico.



Se planificó un total de 6 campañas 2 de reconocimiento litológico y sondeo de fuentes de agua, 2 de reconocimiento de estructuras y riesgos geodinámicos, 1 de muestreo y aforo de caudales.

Mapeo geológico

El trabajo consistió en realizar el mapeo de todas las unidades geológicas aflorantes y sus características litológicas locales, además del reconocimiento y mapeo de las estructuras (fallas, discontinuidades, esquistosidades, Rb y Bz). Para este proceso se utilizaron las cartas geológicas nacionales (Cuadrángulos 27 R y 28 R) como planos base (topográficos) a escala 1/50,000.

Mapeo geodinámico

El trabajo consistió en realizar el mapeo de todos los eventos cuaternarios de remoción en masa, sean deslizamiento o reptación de tierras, priorizando aquellos que implican un riesgo geodinámico actualmente; desencadenados ya sea por acción hídrica o por elementos estructurales. En esta parte del trabajo se tomaron en cuenta los estándares del “Proyecto multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas”.



Mapeo estructural

Para esta parte del trabajo se realizaron consultas bibliográficas sobre la evolución tectónica regional y local, particularmente del cuaternario; que luego, a partir de proyecciones de las estructuras mayores vía fotointerpretación, hicieron posible correlacionar e identificar los alineamientos principales en la zona y sus implicancias en cuanto a la red de drenaje así como en el riesgo geodinámico en la zona de trabajo. Para este proceso se utilizaron las cartas geológicas nacionales (Cuadrángulos 27 R y 28 R) como planos base (topográficos) a escala 1/50,000.

Mapeo hidrológico e hidrogeológico

El trabajo consistió en previamente inferir los posibles afloramientos de agua subterránea a partir de las imágenes satelitales Landsat TM7 de 30 m de resolución con 7 bandas; para luego realizar el sondeo y reconocimiento de fuentes de agua, puntualizarlas con coordenadas UTM y almacenar las muestras respectivas para analizarlas en laboratorio. En esta fase de las campañas de campo se realizaron los aforos de caudal en los ríos afluentes principales usando el método de la canaleta y del flotador.

Gabinete

Sistematización de la información de campo y elaboración de mapas

Todos los trabajos que involucraron mapeos de campo fueron efectuados sobre la base de Imágenes



Satelitales Landsat TM7 de 30 m de resolución de 7 bandas, los planos topográficos del IGN y los estándares empleados por INGEMMET; y la información fue integrada en el software ArcGis 10.1.

Se realizó el análisis de pendientes tomando en cuenta las características topográficas del terreno y se hizo una caracterización hidrográfica y de drenajes, posteriormente se integraron los datos en el software ArcGis 10.1.

Todas las muestras de agua subterránea se analizaron en laboratorios locales, posteriormente la información hidroquímica analizada así como los caudales muestreados se integraron en el mapa hidrológico. Para la elaboración del mapa hidrogeológico se utilizaron los datos obtenidos de muestreo de permeabilidad en campo, así como los datos piezométricos también tomados en campo.

Previamente se realizó un análisis de los datos de resistividad del SEV para integrarlos al mapa de flujos de agua.

Se realizó el análisis, corrección y completación, de las series pluviométricas para definir las isocías de precipitación en la microcuenca Ccochapunqo y finalmente definir el volumen de agua que alimenta dicha microcuenca. Posteriormente se procedió a calcular el potencial hídrico y el balance hídrico incluyendo datos representativos para las salidas de agua de la microcuenca Ccochapunqo.

El Modelamiento Hidrogeológico, además del Balance Hídrico; se realizaron a partir de los datos de entradas y salidas de agua, así como de las



características hidrogeológicas de la litología presente. Todos estos datos se integraron utilizando el software Model Muse para Mod Flow.

1.9. ANTECEDENTES

Actualmente los únicos registros que se encuentran sobre la zona de estudio los son relativos al aspecto geodinámico; como es el Diagnostico Hidrogeológico - Geodinámico de la microcuenca Cachimayo-Anta publicado en el año 2008, o agropecuario para el caso del proyecto de “fortalecimiento de capacidades para el ordenamiento territorial en la Región Cusco-Diagnostico para la provincia Anta” realizados por el Gobierno Regional el año 2011.

Sin embargo nuestro equipo de trabajo sostuvo conversaciones con técnicos de la Municipalidad de Pucyura-Anta en las que se hizo mención a una anterior iniciativa para elaborar un Expediente Técnico que plantee la construcción de una mini-presa en dicha zona; la que resultó infructuosa y sobre la que no existe reportes al respecto.

1.10. UBICACIÓN

Ubicación Política

Políticamente la microcuenca Ccochapunqo, está circunscrita dentro de la jurisdicción de:

Distrito:	Pucyura
Provincia:	Anta
Departamento:	Cusco
Región:	Cusco

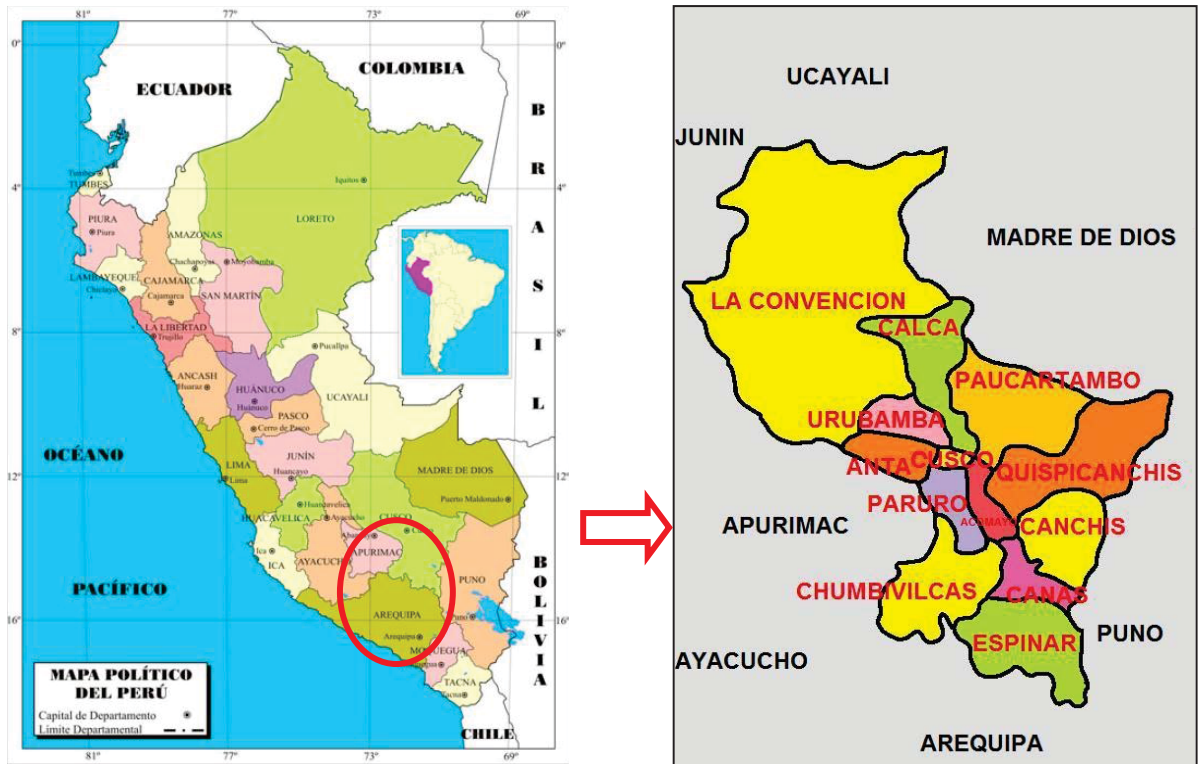


Figura N° 1-2. Mapa Político Administrativo del Perú, Mapa Político Administrativo de la Región de Cusco. Fuente INEI



Figura N° 3. Mapa Político Administrativo de la Provincia de Anta. Fuente INEI



Ubicación Geográfica

Geográficamente la Microcuenca Ccocha Punqu, se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad del Cusco hacia el borde sur del Domo de Maras. Cuyas coordenadas son:

Latitud Sur: $13^{\circ}29'59.22''$

Longitud Oeste: $72^{\circ}04'58.57''$

Pendiente Media: 22°

Ubicación Hidrográfica

Las aguas del río Ccochapunqu fluyen a la Depresión de Anta y se canalizan, junto con el río Cachimayo, hacia el río Huarucondo hasta verterse sobre la cuenca del río Vilcanota. Jerárquicamente la microcuenca Ccochapunqu se encuentra conformando parte del sistema hidrográfico siguiente:

Cuenca Fluvial Media del: río Urubamba/Vilcanota

Cuenca Hidrográfica del: río Ucayali

Hoya Hidrográfica del: Atlántico

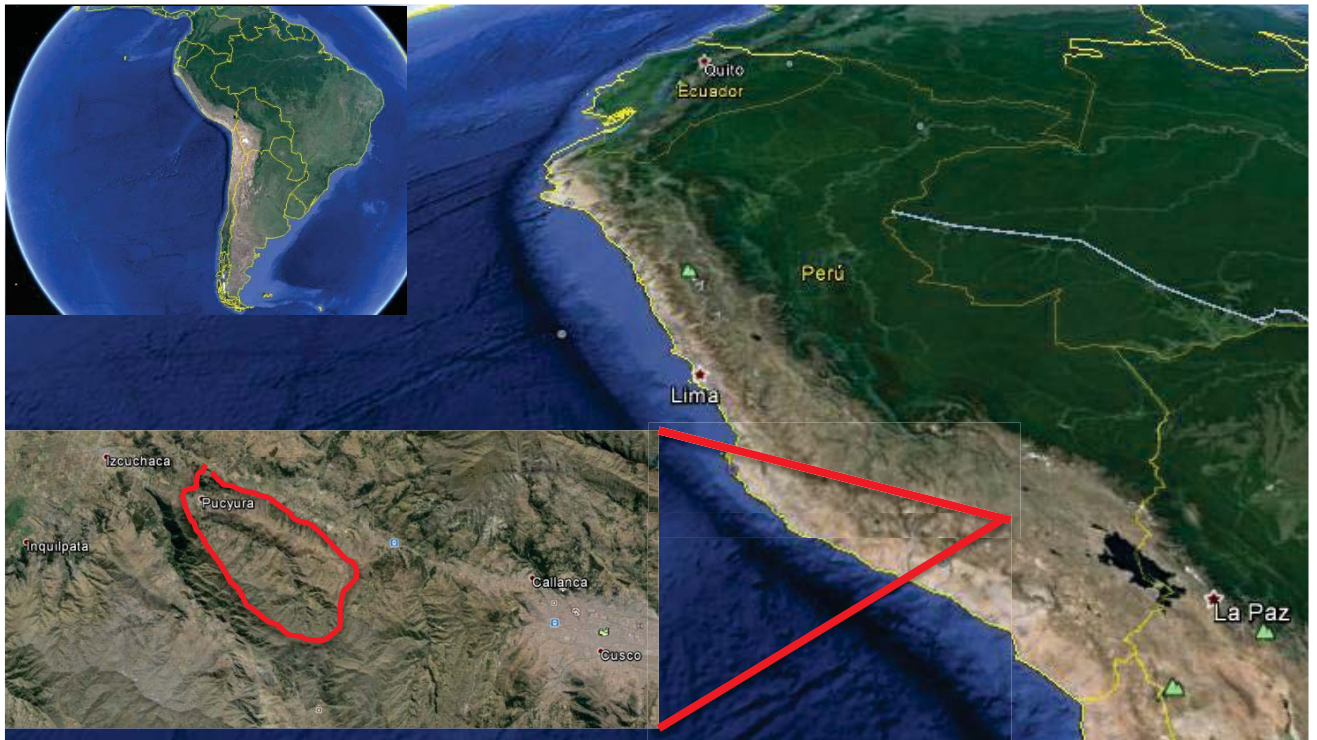


Figura N° 4. Imagen satelital de la ubicación de la microcuenca Ccochapunqo. Fuente GoogleEart.



Figura N° 5. Imagen satelital de la microcuenca Ccochapunqo. Fuente GoogleEart.



1.11. DELIMITACIÓN

La microcuenca Ccochapunqo se encuentra físicamente limitada por:

- Por el Suroeste, limita con la microcuenca del río Ccasacunca.
- Por el Norte, limita con el borde sur del Domo de Maras.
- Por el Sureste, limita con el flanco Oeste de la montaña Mama Simona.

La microcuenca Ccochapunqo se encuentra políticamente limitada por:

- Por el Sur, limita con la Provincia de Cusco.
- Por el Este, limita con el Distrito de Cachimayo.
- Por el Oeste, limita con el Distrito de Anta.

1.12. ACCESIBILIDAD

El acceso a la microcuenca Ccochapunqo se encuentra facilitado por:

- Vía asfaltada Cusco-Abancay. Desde Cusco hasta la localidad de Pucyura, luego se toma una trocha carrozable desde la localidad de Pucyura hasta la comunidad Juan Velazco Alvarado, ubicada en cabecera de cuenca.
- Vía asfaltada Cusco-Abancay. Desde Cusco hasta el sector de Rosas Jasa donde se encuentra una trocha carrozable hasta la



comunidad de Matero; a partir de esta comunidad se encuentra una trocha peatonal que dirige hasta la comunidad de Juan Velasco Alvarado.

- Vía asfaltada Cusco-Abancay. Desde Cusco hasta el poblado de Poroy donde se encuentra una trocha peatonal que lleva hasta la comunidad de Matero, desde donde se realiza una caminata de una hora por un sendero peatonal regularmente transitado hasta la microcuenca de Ccochapunqo.

1.13. DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA

Clima

La clasificación climática permite identificar los diferentes tipos de clima que existen en la microcuenca Ccochapunqo, así como conocer las características medioambientales; las cuales son importantes para la planificación e implementación de actividades de desarrollo.

Mediante los datos climáticos se estima aproximadamente las condiciones climáticas de la microcuenca, para lo cual se cuenta con una red de estaciones meteorológicas que se observan en el cuadro siguiente.



Tabla N°1. Red de estaciones meteorológicas utilizadas para diagnóstico.

ESTACIÓN	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m. s.n.m.)
PERAYOC	CP	13°34´	71°57´	3365
KAYRA	CP	13°34´	71°54´	3219
PARURO	CO	13°46´	71°51´	3084
URCOS	CO	13°42´	71°38´	3149
ACOMAYO	CO	13°55´	71°41´	3160
CCATCCA	CO	13°36´	71°34´	3726

Fuente: Elaboración propia.

Los datos meteorológicos del sector que circunscribe la microcuenca Ccochapunqo presentan los siguientes parámetros climatológicos:

Temperatura

El valle tiene un ambiente templado prioritariamente frío durante el año. Es frío a frígido entre los meses de Junio y Agosto, con temperaturas mínimas que durante el día suelen alcanzar los 8°C. La temperatura nocturna durante el invierno se encuentra en el rango de 3°C-6°C, durante los meses de verano se tienen temperaturas que van desde los 6°C hasta los 22°C (estándares tomados de SENAMHI).

Precipitación

La precipitación anual promedio es de 986.72 mm. En relación a las precipitaciones pluviales son máximas desde



Diciembre hasta Abril y mínimas desde Mayo hasta Noviembre (SENAMHI).

Humedad relativa

Se aprecia que la humedad relativa muestra valores más altos en verano debido a las lluvias, y bajos en invierno por la época de secas. La humedad relativa media anual es de 62%.

Para la clasificación climática se utilizaron los estándares y criterios propuestos por SENAMHI (1988, mapa climático del Perú), que combinan cobertura vegetal con factores climáticos. Se concluyó que para la microcuenca Ccochapunqo corresponde una clasificación:

Símbolo	B(o,i) D´H3
Tipo climático	Lluvioso semifrígido de invierno seco, atmosféricamente húmedo.

Ecología

Para la caracterización ecológica de la microcuenca se tomó en cuenta el Mapa Ecológico del Perú (ONER, 1976) cuyos resultados muestran la información climática, edafológica y de vegetación con su respectiva interrelación entre ellas, sobre la base de los cuales se delimitaron ecosistemas homogéneos (zonas de vida).

De acuerdo al registro vegetal tanto como a la altitud que presenta esta microcuenca se ha concluido que las zonas de vida en las que encaja de manera coherente son el *“Bosque seco Montano Bajo Subtropical”* y el *“Bosque húmedo Montano Subtropical”*

La ubicación y temperaturas de la micro cuenca Ccochapunqo favorecen el desarrollo y distribución de plantas de tipo arbustivo como el sittiq, también se encuentran arbóreas como eucaliptos (*eucaliptus globulus*) y mut'uy (*cassia hookeriana*); a causa de la importante presencia de agua, una particular abundancia de gramíneas como la avena y el trigo que son cultivadas por las comunidades campesinas en la Micro cuenca; estas últimas especies ubicadas hacia la parte de cuenca media y cuenca baja. La cuenca alta se caracteriza más bien por temperaturas más bajas y un desarrollo del ichu (*stepa obtusa*) .



Fotografía N° 01: Stepa Obtusa o Ichu; ubicado en las partes altas de la microcuenca.



Fotografía N° 02: Cassia Hookeriana o Mut'uy; arbustiva localizada sobre todo en las partes medias de la microcuenca.

Fauna

La fauna de la micro cuenca Ccochapunqo consiste principalmente de ganado vacuno y ovino que son criados para carne además de fuerza de trabajo en el arado, así como de equinos (caballo y mula) para hacer posibles las actividades cotidianas relacionadas al transporte. Los animales menores como gallinas y cuyes son también muy frecuentes.



Fotografía N° 03: Ovinos de corta edad hallados dentro de sus rebaños las cuales están bastante presentes en la zona.



1.14. AREA Y ALTITUD

Se han realizado mediciones a partir de imágenes satelitales en las cuales se ha delimitado el área de la micro cuenca definiendo los puntos más altos o el divortium acuorum.

El área total de la microcuenca del río Ccochapunqo es 17.613 Km².

El perímetro total de la cuenca es 22.283 Km.

La Micro cuenca del río Ccochapunqo atraviesa alturas que van desde los 3370 m.s.n.m. hasta los 4200 m.s.n.m. sin embargo para fines del presente estudio se subdividió la cuenca en tres zonas de acuerdo a la hidrodinámica y la evolución morfométrica de cada una:

- La cabecera de cuenca o cuenca alta: Que va desde los 4200 msnm hasta los 3592 msnm.
- La cuenca media: Que va desde los 3592 msnm hasta los 3496 msnm.
- La cuenca baja: Que va desde los 3496 msnm hasta los 3370 msnm.



CAPITULO II. GEOMORFOLOGÍA Y FISIOGRAFIA

2.1. GENERALIDADES

La estrecha relación existente entre la geomorfología y las aguas subterráneas condicionadas a su vez por la geología, conforma la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como también los aportes de precipitación y escorrentía superficial.

La microcuenca de Ccochapunqo presenta un área de relieves ligeramente empinados producto del modelado de los sedimentos fluvio-lacustres de las actuales colinas del Cusco, de edad mesozoica y cenozoica, y de las subsecuentes orogenias regionales, sobre todo en el cuaternario, que provocaron accidentes tectónicos como pliegues y fallas hasta hoy activos y, particularmente en la zona de trabajo, buzamientos pronunciados mayores a los 50°.

2.2. TOPOGRAFÍA Y OROGRAFÍA

2.2.1. Análisis de pendientes

El río Ccochapunqo fluye de Sureste a Noroeste y tiene la característica de ser muy delgado por estar emplazado en un valle joven de flancos escarpados en la mayoría de su curso, con canales que le dan una forma dendrítica a la red de drenaje. A ambos márgenes existen cerros y colinas con quebradas de cursos primordialmente estacionales de diversas longitudes que



hacia la cabecera de cuenca constituyen sus afluentes principales. La microcuenca Ccochapunqo varía notablemente de pendiente en tanto avanza el curso principal del río, sin embargo se puede definir una pendiente promedio de 29.33 %

El análisis de pendientes representa los diversos grados de inclinación del relieve terrestre expresados a manera de pendiente (%). La pendiente de una cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca. Un mapa de pendientes es la unidad básica de análisis que sirve para describir las unidades geomorfológicas presentes en una cuenca.

Existen diversas categorizaciones de rango de pendientes; se utilizó las propuestas por INRENA para realizar los cálculos y el diseño de la pendiente.

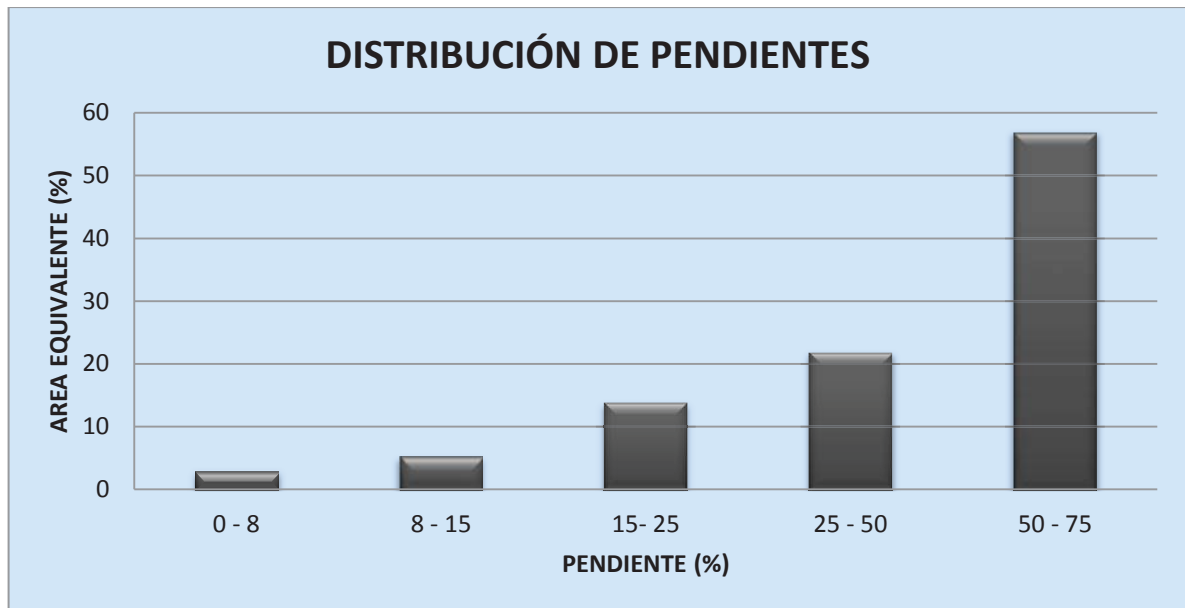
Tabla N° 2. Valoración de escala de pendientes.

Termino Descriptivo	Rango (%)	Superficie	
		Km ²	%
Suave a ligeramente inclinada	0-4	0.497	2.825
Regular a moderadamente inclinada	4-8	0.892	5.066
Mediana a fuertemente inclinada	8-15	2.410	13.692
Fuerte a moderadamente empinada	15-25	3.809	21.641
Muy fuerte a empinada	25-50	9.994	56.775
Muy empinado, zonas de escarpa	50-75	0.497	2.825
Total		17.613	100

Fuente: Categorización por INRENA



Grafico N° 1. Distribución de Pendientes.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Descripción Orográfica

Describe el relieve en sus diversas altitudes y el área que ocupan estos.

Los resultados indican una predominancia de topografías *medias a fuertemente inclinadas* en las zonas de valle y montañas *moderadas a muy fuertemente empinadas* en las partes altas.

2.3. GEOMORFOLOGÍA

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

El origen y las características de la forma de relieve en el ámbito de la microcuenca de Ccochapunqo, es consecuencia de diversos episodios de modelamiento tectónico regional así como



también a procesos erosivos que hasta la fecha se siguen dando, originando una diversidad de geoformas de relieve y paisaje.

2.3.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Geomorfológicamente, la zona de estudio a escala regional está conformada por unidades geomorfológicas que a su vez pueden subdividirse en función de los accidentes morfológicos tipificados por sus características litológicas.

La zona de estudio geomorfológicamente se ubica al Sur-Este de la ciudad del Cusco entre los 3300 y 4200 m.s.n.m., dentro de un relieve típicamente interandino que ofrece amplios valles.

Entre la unidades geomorfológicas se distinguen (Marocco, 1978. Herrera y Vallenas, 1996.).

2.3.1.1 Altiplanicies

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

Las geoformas pueden estar separadas, en algunos casos, por fallas NO-SE. Se han diferenciado las siguientes geoformas:

a) Depresión de Limatambo

Llamada así a una franja de forma alargada paralela al curso del río Colorado, que recorre de NE a SO, cuyas dimensiones son de 10.5 Km de largo y de 4.0 Km de ancho aproximadamente (Herrera y Vallenas, 1996.).



Constituye el límite occidental entre las Altiplanicies y la Cordillera Oriental. Sus altitudes varían entre 3600 y 2400 msnm. en esta depresión es el río Colorado que tiene como tributarios al río Sanidina, río Chaco

EL río principal que transcurre, río Piste y río Parco. Con el pasar del tiempo estos han formado terrazas, que se ubican mayormente en el flanco izquierdo del río Colorado (Paredes, 1998.), con excepción de la quebrada Achaco.

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

b) Meseta de Chinchaypucyo

Constituye el borde Norte de las altiplanicies mencionadas líneas arriba. Esta unidad es de relieve suave y queda truncada por una superficie de erosión ubicada a alturas de 4200 y 4300 msnm, llamada “superficie puna” (Bowman, 1916. Maclaughlin, 1924.).

La erosión que ha formado esta geoforma, se desarrolla sobre los conglomerados de la Formación Anta y rocas volcánicas que sobreyacen a dicha formación. En sus bordes afloran areniscas y lutitas rojas del grupo San Jerónimo, además de rocas intrusivas del batolito Andahuaylas-Yauri, respectivamente; la acción glaciario y fluvial han disectado la actual geoforma.



c) Depresión de Anta

Es una depresión alargada que se orienta de forma WNW-ESE, la geoforma se torna más amplia a medida que se avanza hacia su parte central y alcanza los 10 km anchura, en tanto su máxima longitud llega hasta los 30 km. Sus extremos son angostos y parecieran cerrar la geoforma. Es una zona bastante plana situada entre los 3300 y 3400 msnm. Se constituye por un material de origen fluvio-lacustre y de edades que van desde el Pleistoceno medio al Holoceno (Cabrera, 1988.). Estas series se hallan afectadas por ciertas fallas reactivadas durante la gran tectónica cuaternaria. Actualmente es usada como zona de pastizales y tierras de cultivo.

La depresión está atravesada por el río Cachimayo de SE a N y por el río Pitumayo de NW a SE, estos dos cursos se unen para formar el río Huarcocondo que se dirige hacia el Norte y desemboca en el río Vilcanota.

Esta unidad geomorfológica limita al Sur con la meseta de Chinchaypucyo, al NE con la Pampa de Piuray-Maras, al NW con las vertientes de las montañas de Huayanay a través de una falla E-W y al Oeste con la depresión de Limatambo.

Toda esta depresión se halla ligeramente interrumpida por algunas lomas intermedias donde destacan la de Catañiray, San Juan y Tambocancha. La loma de Catañiray es un afloramiento constituido de lutitas y yesos del Grupo Yuncaypatay además de un cuerpo volcánico shoshonítico, en tanto que la loma de San Juan está compuesta por las secuencias conglomeráticas de la Formación Anta. Finalmente la loma Tambocancha se halla constituida por rocas de la Formación Puquín, conglomerados de la Formación Anta y por algunos intrusivos.



d) Pampa de Piuray-Maras

Se trata de una unidad positiva de relieve algo plano que se halla a una altura mayor que la de la Depresión de Anta, yendo desde los 3600 msnm hasta los 3700 msnm. Limita al N con el río Urubamba, al E con las montañas del Cusco, al S con la Depresión de Anta de manera progresiva. Al Oeste con las montañas de Huayanay, a través del valle del río Huarcondo. Esta pampa está compuesta por material de secuencias caóticas, con grandes bloques de la Formación Chincheros, probablemente de edad Pliocena y por series fluvio-lacustres del Pleistoceno de la Formación San Sebastián. Además esta geoforma presenta notables afloramientos de lutitas, calizas y evaporitas del Grupo Yuncaypata.

e) Montañas del Cusco

Es una cadena de cumbres ubicadas al norte de las altiplanicies, limitando con la Cordillera Oriental, al Este de la Pampa de Piuray-Maras y la depresión de Anta. Las montañas del Cusco se separan a causa de la prolongación de la Pampa de Piuray-Maras, precisamente dando espacio a la laguna del mismo nombre.

Su límite Norte es directamente la Cordillera Oriental, contacto mediado por una falla NW-SE, o a través de algunas mesetas intermedias de origen estructural. Finalmente su límite Sur es con la meseta de Sacsayhuaman mediante la falla de Tambomachay.

2.3.1.2. Cordillera Oriental

Es una zona morfoestructural fuertemente individualizada ubicada al Norte y Noroccidente de las



altiplanicies. Esta unidad está rodeada por fallas NO-SE. Las partes más elevadas frecuentemente se encuentran cubiertas por glaciares cuyo proceso de retroceso presenta cada vez más evidencias sobre antiguas glaciaciones. El límite inferior de los nevados se halla por lo general a 4800 msnm. Además de los glaciares se presentan circos, valles en U y morrenas.

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

La Cordillera Oriental comprende tres cadenas de nevados (Huayanay-Paljay, Pitusiray - La Verónica, Terijuy - Quilloc), La meseta de Colquepata y los valles Intercordilleranos.

2.3.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La microcuenca Ccochapunqo se encuentra geomorfológicamente ubicada en una zona de colinas con pendientes mayores a 40° perteneciente al extremo noroeste del Altiplano peruano, específicamente en la ladera cordillerana, a faldas de los cerros Cuchicancha, Chachapoyas y Huarmi al Noreste y Sureste y Noroeste respectivamente. De manera general, el valle es estrecho y los flancos de las colinas determinan una forma de “V”, lo que indica que se trata de un valle joven; con una llanura de inundación de algunos pocos metros de ancho, durante la temporada húmeda ocurren más de una quincena de cauces tributarios estacionarios.



Todo se halla relacionado con los procesos sinsedimentarios de la tectónica andina y la erosión y depósito por acción fluvial.

La diversidad de las formaciones geológicas de edad cenozoica y la evolución de fenómenos tectónicos regionales y locales han dado origen a diversas unidades en el área de estudio.

Se pueden diferenciar las siguientes unidades geomorfológicas:

2.3.2.1 Colinas

Constituye la principal unidad en la que se asienta la microcuenca, así como la generadora de energía potencial en la red de drenaje, estas generalmente constituyen las partes más bajas de elevaciones mayores. Sus pendientes se encuentran entre 30° y 39° . Su presencia en la zona de estudio es conspicua sino total.

2.3.2.2 Montañas

Estas constituyen las partes más elevadas y sus puntos más altos definen el divortium acuarium para la microcuenca de Ccochapunqo; aquí nacen los afluentes principales. Sus pendientes circundan los 40° - 45° .

2.3.2.3 Quebradas

Atraviesan las colinas transversalmente, que al final van a desembocar a la cuenca del río Cachimayo. La mayoría de estas unidades tienen flujos estacionarios y sus direcciones están controladas estructuralmente.



Tabla N°3. Clasificación de las unidades geomorfológicas locales.

GRAN PAISAJE	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	
Montañas	Colinas	Colinas Bajas
		Colinas Altas
	Montañas	Vertiente poco Empinada
		Vertiente Empinada
		Vertiente muy Empinada

Fuentes: Elaboración propia

2.4. FISIOGRAFÍA

Desde el punto de vista conceptual la fisiografía es usada para describir las geformas tomando en cuenta el relieve del paisaje (desde las perspectivas fisonómica y panorámica) de una región conformada por montañas, llanuras, valles, etc asociándolo a su material parental. Fisiográficamente el área de estudio presenta rasgos morfológicos que son el resultado de una larga evolución, originada por factores tectónicos y erosionales que han modelado el paisaje hasta su estado actual.

La historia morfogenética de la región está vinculada íntimamente a la evolución geológica de los Andes del Sur, algunos de cuyos eventos pasados explican las formas actuales. La evolución morfológica está relacionada a una serie de grandes superficies de erosión ocurridas en el Paleogeno-Neogeno, a la fase de Levantamiento Andino y posteriores eventos y a los cambios climáticos más característicos del cuaternario. Todos estos eventos geológicos han dejado profundas huellas en la morfología actual. La microcuenca de Ccochapunqo presenta las siguientes unidades bien definidas:



2.4.1. Relieve montañoso y colinado denudacional

Está constituido por montañas, laderas, lomeríos y colinas de pendientes que oscilan entre los 30° y 45°. Estos están conformados por afloramientos de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Muñani y se encuentran sometidos a la denudación por factores climáticos.

2.4.2 Pie de monte coluvio-aluvial

Conformado principalmente por coluvios (soliflucción) conformando pie de monte de ladera, algunos bajo la influencia de flujos acuosos formando localmente conos con una matriz lutaceo-arcillosa y fragmentos de roca de granulometría diversa provenientes de las rocas de ladera situadas a mayor elevación, de la propia Formación Muñani. Las pendientes de esta unidad son mucho más suaves y oscilan entre los 12° y 20°.

2.5. PARAMETROS HIDROMORFOMÉTRICOS

2.5.1. ORDENAMIENTO TOPÓLOGICO DE CUENCA

El ministerio de Agricultura a través del programa PRONAMACH, elaboró la siguiente clasificación general de cuencas hidrográficas para uniformizar criterios que permitan lograr una mejor implementación de planes de ordenamiento y manejo:



Tabla N°4. Clasificación general de cuencas hidrográficas

Criterio	Tipología de Cuencas
Relieve	De montaña
	Alto andinas
	De llano
Posición relativa en la cuenca fluvial	Altas
	Bajas
Dirección de la descarga	Exorreicas
	Endorreicas
	Arreicas
Orden/Tamaño	Cuenca fluvial u Hoya hidrográfica
	Cuenca Hidrográfica
	Subcuenca
	Microcuenca

Fuente: Ministerio de agricultura. 2001.

2.5.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Los parámetros geomorfológicos en estrecha relación con las aguas subterráneas y su condicionante geológica; definen las características del comportamiento del recurso hídrico (dígase recargas y descargas, escurrimiento superficial, distribución de las permeabilidades, etc.).

Para los cálculos de los parámetros morfométricos se realizaron en forma directa por mapas digitalizados en ArcGis 10.1.



2.5.2.1. SUPERFICIE

a) Área de la cuenca

El área total de la cuenca es la representación superficial de todo el entorno de estudio comenzando a partir de la delimitación del divortium acuarium.

Área total de la microcuenca = 17.613 Km²

2.5.2.2. ELEMENTOS DE DISTANCIA

a) Perímetro de la cuenca

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

Perímetro de la microcuenca = 22.283 Km

c) Longitud Axial

Es la distancia que en línea recta une la desembocadura del drenaje y el punto más lejano de la microcuenca.

Longitud axial = 7.93 Km

c) Ancho promedio

Ancho promedio = 2.79 Km



2.5.2.3. ELEMENTOS DE FORMA DE LA MICROCUENCA

La forma de una microcuenca es gran parte responsable de las características de las crecientes, ya que determina las descargas de agua a lo largo del cauce.

a) Índice de Compacidad

El índice utilizado es llamado “coeficiente de compacidad de Gravelious” (K_c); expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y la longitud equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca. Este coeficiente define la forma de la cuenca, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985).

Tabla N°5. Formas de cuenca de acuerdo al índice de compacidad.

Clase de forma	Índice de compacidad	Forma de la microcuenca
Kc1	1 - 1.25	Casi redonda a oval redonda
Kc2	1.25 - 1.5	Oval-redonda a oval-oblonga
Kc3	1.5 - 1.75	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: FAO, 1985

Para el caso de estudio presente este índice es mayor que la unidad (1.46), por tanto la forma de la microcuenca es sinuosa y alargada, apartándose de la forma circular; las crecientes son consecuencia de las precipitaciones en la parte de cabecera de la microcuenca, concentrándose las aguas en las partes bajas, produciendo algunos desbordes hacia la parte media.



$$\text{Índice de Gravelious (Kc)} = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

P = perímetro de la cuenca en Km

A = área de la cuenca en Km²

$$\text{Índice de Gravelious Kc} = 0.282 \times \frac{22.283}{\sqrt{17.613}} = 1.46$$

b) Factor de Forma

Es el parámetro que indica la forma superficial de la cuenca por cuanto afecta los hidrográmas de escorrentía y las tazas de flujo máximo. El factor de forma expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca y está dado por:

$$\text{Factor de forma (Kf)} = \frac{B}{L}$$

Dónde:

B = Ancho promedio

L = longitud Axial de la cuenca

$$\text{Factor de forma (Kf)} = \frac{2.79}{7.93} = 0.352$$

c) Rectángulo Equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie de la microcuenca, el mismo coeficiente de compacidad y el mismo perímetro, y las curvas de nivel se convierten en rectas



paralelas al lado menor generándose desde la primera hasta la última curva.

Lado Mayor

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Lado Menor

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Dónde:

L = Longitud del Lado mayor del Rectángulo Km.

l = Longitud del Lado menor del Rectángulo Km.

Kc = Índice de Gravelious

A = área de la cuenca en Km²

Lado Mayor

$$L = \frac{1.46 \sqrt{17.613}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.46} \right)^2} \right]$$

$$L = 7.72 \text{ Km}$$

Lado Menor

$$l = \frac{1.46 \sqrt{17.613}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.46} \right)^2} \right]$$

$$l = 1.97 \text{ Km}$$



2.5.2.4. ELEMENTOS DE RELIEVE DE LA MICROCUENCA

a) Elevaciones de los Terreno

Son características que nos muestran la variación de la inclinación de la superficie de la cuenca, y estas se consideran con referencia al nivel del mar.

Hmax = altura máxima = 4200 m.s.n.m.

Hmin = altura mínima = 3370 m.s.n.m.

b) Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica caracteriza en cierto modo el relieve de la cuenca. Es una línea irregular que trata de representar el perfil longitudinal de una cuenca.

Tabla N°6. Datos para el trazado de la curva hipsométrica.

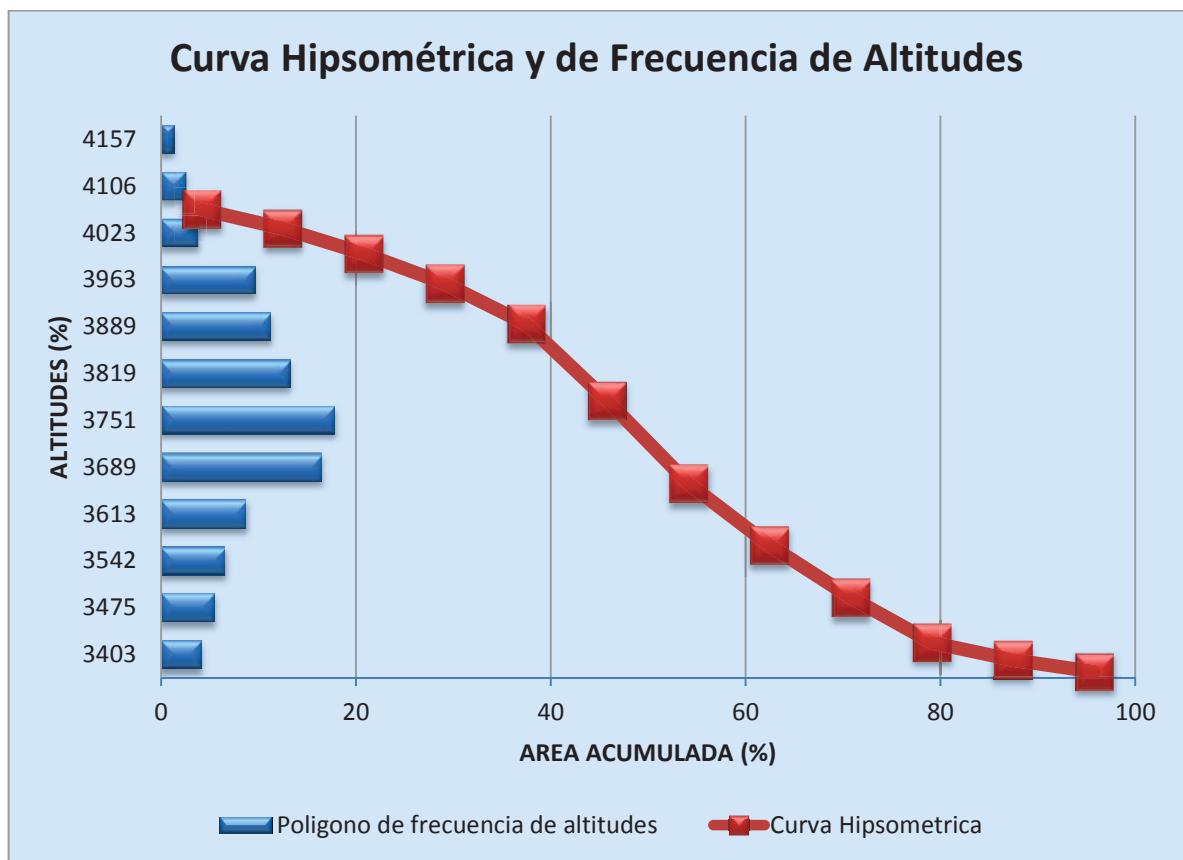
Nro	Cota (m.s.n.m.)			Area (km ²)			
	Minimo	Maximo	Prom	Area	Acumulado	% Acum	%Inter
1	3367	3437	3403	0.720	17.618	100.000	4.086
2	3438	3507	3475	0.946	16.898	95.914	5.370
3	3508	3577	3542	1.133	15.952	90.543	6.431
4	3578	3647	3613	1.517	14.819	84.113	8.613
5	3648	3717	3689	2.883	13.301	75.500	16.366
6	3718	3787	3751	3.123	10.418	59.134	17.729
7	3788	3857	3819	2.314	7.295	41.405	13.134
8	3858	3927	3889	1.967	4.981	28.271	11.165
9	3928	3997	3963	1.693	3.014	17.105	9.610



10	3998	4067	4023	0.658	1.321	7.496	3.735
11	4068	4137	4106	0.440	0.663	3.761	2.497
12	4138	4207	4157	0.223	0.223	1.264	1.264
Sumatoria				17.618			100.000

Fuente: elaboración propia

Grafico N° 2. Curva Hipsométrica y de Frecuencia de Altitudes.



Fuente: elaboración propia

c) Altitud media de la Microcuenca

Es aquella altitud para la cual el 50 % del área de la microcuenca está situada por encima de esta altitud y el otro 50 % está situado por debajo de ella, es decir la altitud media es la ordenada media de la curva hipsométrica. Representa la altura



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

$$H_m = \frac{\sum(ai \times hi)}{A}$$

Dónde:

$A_i \times h_i$ = Altitud Media x Áreas Parciales

A = área de la cuenca en Km²

$$H_m = 3816.729 \text{ m. s. n. m.}$$

Altura media de la microcuenca (H_m) = **3816.729 m.s.n.m.**

d) Altitud Más Frecuente de la Microcuenca

Es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes.

Altitud más frecuente = 3751 m.s.n.m.

e) Altitud de Frecuencia 1/2 de la Microcuenca

Es la altitud correspondiente al punto de abscisa ½ de la curva de frecuencia de altitudes.

Altitud de frecuencia 1/2 = 3788.243 m.s.n.m.

2.5.2.5. DECLIVIDAD DE ALVEOS

El cauce principal y su red tributaria concentrada en los lechos fluviales discurren con una velocidad que depende directamente de la declividad de estos; así a mayor declividad habrá mayor velocidad de escurrimiento y erosión fluvial.

Se utilizan los siguientes parámetros:



a) Desnivel Absoluto de la microcuenca

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

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

$$D = 830 \text{ m.}$$

b) Pendiente Promedio de la cuenca

Tabla N°7. Datos para el cálculo de la pendiente media de la cuenca.

PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA					
Nro	Rango Pendiente (%)			Numero de Ocurrencias (2)	(1)*(2)
	Inferior	Superior	Promedio(1)		
1	0	10	5	2155	10775
2	10	20	15	3988	59820
3	20	30	25	4273	106825
4	30	40	35	3800	133000
5	40	50	45	2709	121905
6	50	60	55	1378	75790
7	60	70	65	573	37245
8	70	80	75	137	10275
9	80	90	85	20	1700
10	90	100	95	14	1330
TOTAL=				19047	558665

Fuente: elaboración propia

$$\text{Pendiente Promedio de la cuenca} = \frac{558665}{19047} = 29.33 \%$$



c) Pendiente Media del Río (I_r) %

Comprende los puntos extremos en que se encuentra comprendido, entre su nacimiento y el punto de descarga.

$$I_r = \sum (H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}) \times 100 / 1000L_r$$

Dónde:

I_r = Pendiente media del cauce principal (%).

H_{máx} = Altura máxima del afluente principal.

H_{mín} = Altura mínima del afluente principal.

L_r = Longitud del cauce.

$$I_r = 2.27 \%$$

La pendiente media del río es 2.27 %, presentando un relieve medianamente inclinado.

Tabla N°8. Datos para el cálculo de la pendiente promedio de la red.

PENDIENTE PROMEDIO DE LA RED			
Orden de la Red Hídrica	Número de veces (1)	Pendiente Promedio (2)	(1)*(2)
1	829	2.58263	2141.00027
2	318	2.188679	695.999922
3	123	1.804878	221.999994
4	205	1.429268	292.99994
Total	1475		3352.000126

Fuente: elaboración propia

Pendiente Promedio = 2.27%



2.5.2.6. DRENAJE

a) Forma de Drenaje

El drenaje de la microcuenca en estudio es del tipo *dendrítico subparalelo*.

b) Grado de Ramificación

Toda red fluvial presenta una jerarquía de los cauces, considerándose cauces de primer orden a los que están en la parte más extrema de la red que recogen la escorrentía difusa o laminar pero no concentrada. Los cauces de segundo orden son los resultantes de la unión de dos o más segmentos de primer orden, los de tercer orden resultan de la unión de dos o más cauces de segundo orden y así sucesivamente. El drenaje colector principal es el que tiene el orden mayor.

Tabla N°9. Orden de drenajes.

Nº de Orden	Nº de Canales
1	19
2	3
3	1
4	1
Total	24

Fuente: Elaboración propia en base a Strahler (Gregory, Op. cit.).

c) Número de Orden del cauce Principal

El nivel de jerarquía del cauce principal es de cuarto orden.



d) Densidad de Drenaje

Este parámetro conduce a una apreciación de las escorrentías superficiales con relación al área de la microcuenca, a la vez permite tener un panorama de mayor precisión sobre la infiltración y la evapotranspiración en la zona de estudio.

Se expresa como la longitud de las corrientes, por unidad de área, es decir:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Dónde:

L: longitud total de todos los cauces de agua (Km)

A: área total de la cuenca (Km²)

Tabla N°9. Longitud de la red hídrica de la cuenca.

LONGITUD DE LA CUENCA	
Orden de la Red Hidrica	Longitud en km.
1	21.286776
2	8.396299
3	3.262979
4	5.528222
Total =	38.474276

Fuente: Elaboración propia

$$D_d = \frac{38.474}{17.613} = 2.18$$

La densidad de drenaje de la microcuenca es de 2.18 km de canales por cada Km².

La microcuenca tiene un drenaje bajo.



e) Orientación de la Microcuenca

La microcuenca tiene una orientación predominante de NW – SE.



CAPITULO III. GEOLOGÍA GENERAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de este trabajo corresponde a un enfoque, considerando parámetros geológicos, que dieron la partida para un análisis hidrogeológico y geodinámico; por tanto es necesario aclarar los conocimientos de las características litológicas, principalmente para determinar el comportamiento de las mismas en función de evaluaciones ingenieriles.

En el área de estudio se encuentran unidades litológicas que abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, tales como: Depósitos sedimentarios consolidados, evaporitas, reminiscencias de intrusiones volcánicas e intrusivas, y depósitos superficiales no consolidados de edad cuaternaria (coluviales y fluviales).

La información preliminar que para el presente estudio litoestratigráfico se ha considerado es la bibliografía básica de estudios y publicaciones realizados por Gregory (1916), Newell (1948) y estudios realizados por el INGEMMET en la base geológica del Cuadrángulo de Cuzco 28-r.

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

De manera general, adyacentes al área de estudio, se presentan unidades geológicas cuyas edades varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente. Dentro del contexto regional se presenta el



basamento metamórfico de edad Paleozoica, constituido por la formación San José; que se encuentra sobreyacida por el grupo Mitu, de edad Permo-Triásica, marcando el fin de la tectónica Herciniana. Esta última unidad sobreyace en discordancia erosional al grupo Copacabana como consecuencia de la tectónica Tardiherciniana y está formada principalmente por material vulcano-sedimentario.

Estas unidades geológicas están seguidas del grupo Yuncaypata que está constituido por limolitas rojas, areniscas, yesos y calizas de origen marino. Sobreyaciendo a este grupo se encuentran unidades de edad Paleógena formadas por las “series rojas” y el grupo San Jerónimo que se encuentran constituidas por rocas sedimentarias en secuencias alternas de lutitas, areniscas y conglomerados de origen fluvial.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro de la microcuenca Ccochapunqo aflora principalmente el Grupo San Jerónimo, que queda inmediatamente cubierto por depósitos de material cuaternario, resultado de la interacción con el intemperismo y la meteorización.

3.3.1 Formación Maras Kis-ma (Cretáceo tardío basal/ Albiano medio)

Sobreyace concordantemente a la formación Paucarbamba. Sin embargo, esta unidad geológica, nunca ha sido observada en forma completa ya que la presencia de yesos le ha permitido actuar de nivel de despegue. Estas secuencias afloran en la pampa de Piuray – Maras, en la zona de Cachijata (al sur de Ollantaytambo) y al norte de la zona de Limatambo – Zurite. De igual forma aflora en la meseta de Sacsayhuaman al norte de Cusco. En estos sectores los afloramientos tienen un patrón caótico, a partir de una mezcla de



yesos, escasas calizas y lutitas, producto de procesos diapíricos. El INGEMMET (Lima, 1996) ha considerado como Formación Maras, a todos los afloramientos caóticos de yesos y lutitas que aparecen dentro del Grupo Yuncaypata, inclusive aquellos yesos que han sufrido removilizaciones relacionadas al tectonismo. Es por esta razón que en el mapa geológico del Cuadrángulo de Urubamba, esta unidad aparece cortando de manera irregular a secuencias posteriores.

Esta formación está compuesta principalmente por yesos, intercalados con lutitas rojas y menos conspicuamente lutitas verdes y algunos niveles de calizas de grosores delgados (3mts-7 mts). Las lutitas serían de origen lacustre o marino somero, los yesos de *sabkha* y las calizas corresponderían a máximos transgresivos (Carlotto, 1992).

El grosor total de esta unidad está estimado entre 100 y 200 metros, sin embargo en algunos lugares pueden sobrepasar los 400 metros debido a efectos diapíricos y tectónicos.

La edad Albiana media de la Formación Maras es asumida, en base a su posición estratigráfica y por correlaciones; ya que infrayace a las calizas de la Formación Ayavacas del Albiano superior – Turoniano.

3.3.2 Formación Vilquechico Ks-vi (Cretáceo tardío)

Esta unidad fue definida por Newell (1949), en los alrededores de la comunidad del mismo nombre en la hoja de Huancané.

Está compuesta por lutitas rojas y verduzcas grisáceas a pardo amarillentas, en capas delgadas que se intercalan con areniscas cuarzosas grises de grano fino. Aflora conformando el núcleo del sinclinal de Alvarizani Y del sinclinal de Putina en el cerro Uyumayo,



en la esquina suroeste del cuadrángulo de Putina, en las faldas del Cerro Senja y la comunidad de Chaconayoc.

Se han diferenciado tres unidades para esta formación:

La unidad inferior está compuesta principalmente por lutitas rojas y verdes muy laminares a manera de varves, en las que se intercalan areniscas muy finas de bancos de 2-5 cm. Presentan una estructura interna de dunas de 3-5 cm. de longitud de onda, algunos de estos bancos tienen cemento carbonatado.

La unidad media está compuesta por lutitas verdes, siltitas, areniscas finas y calizas dolomitizadas. Comienza con areniscas cuarzosas de grano fino a medio bien limpias, en las que se observan granos gruesos de cuarzo, subredondeados y dispersos en el banco. Estas areniscas se presentan en bancos de 1-3 ms. Continúan hacia arriba lutitas verdes y beige que alternan con calizas en bancos de 15-20 cm. Las calizas son mudstones que tienen un intemperismo amarillento debido a su dolomitización; algunos bancos son coquinas de pequeños pelecípodos. Su parte superior es una alternancia de paquetes de lutitas verdes y areniscas muy finas verdosas, en bancos de 0.5-1 mts, cuya estructura interna son dunas de 3-5 cm de longitud de onda.

La unidad superior comienza con areniscas de grano medio a grueso en bancos de 1-2 mts. La estructura interna pertenece a una estratificación oblicua de alto ángulo. Estas areniscas contienen areniscas calcáreas en su parte superior; continúan hacia arriba en alternancia de paquetes de lutitas verdes y areniscas grises de grano medio a fino, en bancos de 1- 1.5 mts. Continuando hacia arriba, se presentan lutitas y siltitas verdes. Todas estas siltitas se presentan con una estructura interna de dunas de 2-5 cm de longitud de onda y a veces forman niveles de flaser bedding.



La parte superior de esta unidad presenta una sedimentación correspondiente a lutitas violáceas y calizas negras muy finas (mudstone) y termina con areniscas muy finas en bancos de 5-10 cm, con una estructura de flaser bedding.

El ambiente sedimentario de la formación sería uno marino. La unidad inferior muestra una sedimentación roja muy fina correspondiente a una sedimentación de interferencia marino-continental. La parte media y superior muestran una sedimentación esencialmente fina, en dunas centimétricas, flaser bedding y caliza en bancos delgados correspondientes a una llanura tidal; en la que existen variaciones desde las zonas intertidales, por intertidales hasta supratidales.

Se le asigna una edad Cretácea superior por una fauna encontrada en la parte media de esta formación, el material fosilífero corresponde a Carofitas chara ovalis Fritzsche y CharaPeralta (Peck y Recker, 1947).

3.3.3 Formación Quilque KsP-qu (Paleoceno basal)

Definida por Gregory (1916) y Carlotto (1992); se trata de secuencias de capas rojas que afloran al E y NE de la laguna de Piuray conformando flancos del Anticlinorio de Piuray a la base del Grupo San Jerónimo y en el núcleo de un sinclinal. Esta unidad suprayace al Grupo Yuncaypata e infrayace al Grupo San Jerónimo. Otros afloramientos de la Formación Quilque se encuentran en la quebrada de San Juan y el cerro Sayhua. Finalmente aflora al este de Corao a la base del Grupo San Jerónimo.

Es un conjunto de 150 metros grano - estrato creciente de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por



la erosión de costras calcáreas. Los bancos areno-conglomerádicos son canalizados y presentan laminaciones oblicuas.

Su evolución vertical muestra que las facies pelíticas lacustres y de llanura de inundación pasan gradualmente a las facies areno-conglomerádicas de un sistema fluvial débilmente entrelazado de procedencia SO. La presencia de carofitas de la especie *Nitellopsis supraplana* (Carlotto et al., 1992; Jaillard et al., 1994) indica la edad Paleocena inferior.

La Formación Quilque puede ser correlacionable con la Formación Santa Lucía (Paleoceno) de Bolivia.

3.3.4 Formación Ausangate KsP-au (Paleoceno basal)

De edad Campaniano-Maastrichtiano, que fue asignada por Carlotto (1999) para esta unidad. Esta unidad litológica está constituida por una secuencia intercalada de lutitas, limolitas laminares, limoareniscas y limoarcillas con estratificación laminar intercalado con delgados estratos de areniscas arcosas de grano fino a medio, en estratos tabulares de color rojo violáceo. Esta formación suprayace en discordancia erosional a la Formación Arcurquina al W infrayace en concordancia a depósitos cuaternarios.

En esta formación se encuentra un conjunto de estructuras monoclinales locales (anticlinal, sinclinal) que se presenta con ángulo bajo en las estructuras. Esta moderadamente fracturado. Esta formación aflora en los distritos de limatambo, Huarcoondo, Ancahuasi, Zurite, Pucyura y Cachimayo. Aflora al NE del Distrito de Limatambo, se encuentra en pequeñas extensiones en el cerro de Pucaventa. Aflora al SW del Distrito de Huarcoondo en pequeñas extensiones, ubicado en el norte del sector de Huamanmarca. Aflora hacia el centro del distrito de Pucyura en pequeñas



extensiones, ubicado en el cerro Moyontuyoc. Aflora al Sur y centro del Distrito de Cachimayo en pequeñas extensiones, que se ubican en el cerro de Moyontuyoc y el sector de Quellorumi, Colpani y Maranhuayco.

3.3.5 Formación Kayra Pea-Ky (Paleógeno eoceno oligoceno)

Una potente serie roja de origen continental de más de 6000 metros de grosor conocida como Grupo San Jerónimo (CÓRDOVA, 1986).

El Grupo San Jerónimo ha sido dividido en 3 formaciones: Kayra, Soncco y Punacancha.

Sobreyace en discordancia erosional a las formaciones Chilca y Quilque. Las formaciones Kayra y Soncco forman un conjunto principalmente constituido por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial.

Está esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado.

3.3.6 Formación Muñani P-mu (Paleoceno superior)

Esta formación fue definida por Newell (1949). En la zona de estudio sobreyace a la Formación Ausangate e infrayace a la Formación Soncco. Su litología está compuesta por lutitas marrones, rojizas y beiges claro; las areniscas gradan de grano grueso a grano



medio y fino, conglomerados y lutitas rojas. Aflora en el borde este del cuadrángulo de Tambobamba, cuadrante 28 r-1; en el flanco suroeste del Cerro Moyontuyoc, el flanco norte del Cerro Mollo Huaman y en el Cerro Cucchicancha; donde se asienta la comunidad de Ccocha Punqo, que acoge al río del mismo nombre.

En esta formación se distinguen tres unidades geológicas:

La unidad inferior se compone por areniscas gruesas y conglomerados en bancos de 2-4 mts de potencia. El contacto inferior de estos bancos es mayormente erosivo. La estructura interna es a veces masiva y con estratificación cruzada de alto ángulo; en algunos bancos se muestran bioturbaciones y hacia la zona de Putina se exponen costras de fierro.

Los elementos clásticos de los conglomerados son principalmente cuarzo lechoso y cuarcitas. Sus tamaños varían entre 1 y 2 cm, siendo subangulosos a subredondeados. La base del banco es generalmente una superficie de erosión. Se intercalan también en esta unidad lutitas marrones y rojas.

La unidad media está compuesta por areniscas de grano medio de color rosado a rojizo, en bancos de 0,5-1 mts. La estructura interna es principalmente estratificación cruzada de alto ángulo, intercalándose con estos bancos, paquetes de areniscas muy finas laminares y lutitas rojas. En esta parte es frecuente observar geometría de canales en los paquetes de areniscas. Varias medidas de paleocorrientes efectuadas en “tools casts” (prood, bounce, Groove, flute cast) obtuvieron varias direcciones; 160-340 grados, 110-290 grados, 130-330 grados. Aquí también se pueden apreciar bancos de areniscas con estratificación cruzada.



La unidad superior se interrumpe por erosión cuaternaria y está compuesta por areniscas de grano medio en bancos de 20-30 cm. Estos bancos pertenecen a secuencias de estratos crecientes hacia arriba. La parte superior de estas secuencias muestra una serie de canales entrelazados de 2-5 cm de ancho. Se intercalan niveles delgados de lutitas a manera de diastemas.

Las características sedimentarias de esta formación, tales como areniscas gruesas, de grano medio y fino, color rosado a rojizo, conglomerados, lutitas rojas; sugieren un ambiente fluvio-continental; otras características como grandes superficies de erosión en la base de conglomerados, canales entrelazados, secuencias estrato crecientes coronadas por canales en trenza; indican sub-ambientes de canales alimentadores, llanura aluvial con canales y barras y lóbulos con canales distributores.

Esta formación fue definida por Newell (1949) como Cretácea superior. Grambast et al. (1967) y Chanove et al. (1969) asignaron una edad Paleoceno-Eoceno a esta formación. Ellison (1986) también asigna una edad Paleoceno-Eoceno para la Formación Muñani.

3.3.7 Formación Soncco Miembro II Po-sj-so-II (Paleogeno oligoceno)

Descrita por Córdova 1986, sobreyace concordantemente o en discordancia progresiva a la Formación Kayra e infrayace a la Formación Punacancha.

La Formación Soncco, dividida por Carlotto (en preparación) en dos miembros, miembro I y miembro II.



El miembro I constituido por lutitas grises y marones de llanura de inundación intercladas con areniscas finas de color gris y matriz limosa, con niveles de cobre (malaquitas).

El Miembro II, constituido por areniscas de grano fino a grueso de color marrón, con clastos blandos y matriz limo arenoso, intercaladas con conglomerados de clastos intrusivos y volcánicos.

Aflora en la margen derecha del río Huatanay, en el Cerro Ancahuachana y Anahuarqui, el miembro I tiene un espesor aproximado de 400 m. (dato calculado en campo).

La edad de la Formación Soncco, Carlotto (2006). Por dataciones de trazas de fisión en apatitos, es de -43 Ma a -30 Ma, que corresponde a Eoceno medio superior - oligoceno inferior.

Esta formación aflora en los distritos de Mollepata, Limatambo, Huarcocondo y Anta. Entre Mollepata y Limatambo aflora en franjas que va de dirección este-oeste en los sectores de Antabamba, Marcco Mocco.

En Huarcocondo aflora en una sola extensión en la parte alta del cerro de San Cristóbal.

En Anta se encuentra ubicado hacia el sureste, específicamente en los sectores de Chucllajasa, Cchullachimpa, Paltaybamba, Ocollocancho.



3.3.8 Formación Chinchero NQ-chi (Neogeno Plioceno)

La formación Chinchero (Cabrera, 1988) o Pumamarca (Cordova et al., 1994) está formada por secuencias fluvio torrenciales. Se han podido distinguir algunos afloramientos hacia el norte y noroeste del valle de Cusco Sobreyaciendo a las formaciones Maras y Ayabacas, en los alrededores de la laguna de Huaypo y en las faldas del cerro Moyontuyoc donde aflora a partir de una discordancia angular sobre la Formación Maras.

Debido a su composición Litológica y color, esta formación a veces se confunde con la parte caótica y deformada de la Formación Maras. Está constituida de brechas que tienen una matriz arcillo arenosa. En general los elementos clásticos que componen la Formación Chinchero provienen de la erosión sobre las formaciones Maras y Ayabacas, principalmente (Calizas, Yesos, Lutitas de diferentes colores). Se presenta con una potencia máxima de 200 metros y está compuesta por secuencias grano decrecientes y estrato decrecientes de segundo orden (Cabrera, 1988). La evolución vertical indica un paso de facies de secuencias de conos torrenciales interestratificadas con brechas en la parte intermedia, a facies fluvio-torrenciales con elementos ligeramente redondeados en la parte superior.

La paleotopografía sobre la cual reposa la Formación Chincheros fue bastante diferenciada, y lo hace en discordancia angular sobre las formaciones Yuncaypata (laguna de Huaypo y localidad de Chincheros) y San Jerónimo (Cerro Senja).

La edad Neógena posiblemente Miocena o Pliocena es asignada por Cabrera (1988). Sin embargo a partir de criterios estratigráficos Carlotto (1998) precisa la edad a sobretodo Pliocena.



3.3.9 Formación Rumicolca Qpl-ru (Plio-Cuaternario)

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

Estos cuerpos volcánicos se les puede identificar a través de fotografías aéreas por su textura rugosa, por formar pequeños cuerpos y por sobresalir en el relieve. Se han identificado los cuerpos de Moray, Maras, Huarcocondo, SE de Ancahuasi y Limatambo.

Estos cuerpos marcan una zona de fallas activas (Cabrera, 1998), al límite entre la Cordillera Oriental y las Altiplanicies. Este vulcanismo está caracterizado por coladas de lavas de dimensiones pequeñas (0.5 a 5 Km²) y raros conos de escorias. Todos estos cuerpos volcánicos han sido descritos como andesitas, siendo su litología muy similar entre afloramientos. Geoquímicamente están clasificadas como shoshonitas. Estas rocas son consideradas como Plio-Cuaternarias en función de criterios estratigráficos y dataciones radiométricas.

3.3.10 Formación San Sebastián Qpl-sa (Cuaternario Pleistoceno)

Esta unidad geológica fue definida por Gregory (1916), en la Depresión de cusco. Se trata de sedimentos principalmente fluvio-lacustres que tienen un espesor de 70 mts. En el cuadrángulo de Urubamba se le ha reconocido en la Pampa de Piuray-Maras así como en la Depresión de Anta. Cabrera (1988) llama Formación Ccatca a los sedimentos ubicados en el poblado de igual denominación. Se presenta a manera de superficie bastante plana sobreyaciendo a la Formación Chinchero y al basamento Cretácico y Terciario.



Se caracteriza por presentar dos secuencias que Cabrera diferencia (1988). La primera es grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos y lutitas lacustres o palustres además de presentar niveles diatomíticos y calcareos en la parte superior. La segunda secuencia es grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas provenientes de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que permiten inferir el probable cierre de la cuenca; Cabrera (1988) relaciona la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias al cierre mencionado.

Sus facies más proximales vienen del noroccidente y se trata de secuencias torrenciales y ríos que evolucionan a secuencias fluvio-lacustres hacia la parte superior y también hacia el este que es justamente donde afloran las facies lacustres y palustres.

En Ayusbamba se caracteriza por presentar arcilla, arena fina, ceniza y turba, sobre algunas capas de conglomerados, en potencias mayores a los 50 mts. Gregory (1914) sugiere que corresponderían a los depósitos de un pequeño lago represado posiblemente por morrenas en una pequeña depresión. Aquí se encuentra un importante yacimiento de fósiles vertebrados como Scelidotheriinae sp. (Hoffstetter, 1968) y Mylodontinae así como Cuvieronius hyodon, Lama sp. (Eaton, 1914). A 2km al norte de la localidad de Anta, Ramírez (1958) encontró dientes y femures de las familias Equido y Megatherido, Cabrera (1988) halló la columna vertebral de un perezoso gigante y el maxilar de un equino. A partir de estos hallazgos se sugiere una edad Pleistocena inferior para la formación San Sebastián (Kalafatovich, 1955; Ramirez, 1958; De Muizon, Cabrera, 1988).



3.3.11 Depositos Coluviales

Ampliamente distribuidos en las partes bajas de los cerros Cuchicancha, Chachapoyas y Huarmi en cabecera de cuenca, además del flanco SE del cerro Moyontuyoc, normalmente constituyen áreas de trabajo agrícola para los pobladores de las comunidades de Juan Velasco Alvarado y Matero. La parte proximal está conformada por gravas, la intermedia y distal prioritariamente por material limo-arcilloso.



COLUMNA ESTTRATIGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO

ERA	SISTEMA	SERIE		GRUP/FORM.	+M.A	LEY/SIMB	ORIGEN	LITOLOGIA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno		Aluvial		Q_al	Transportado y redepositado en fondos de valle	Cantos y gravas heterométricos, en matriz de arena, limo y arcilla, con clastos subangulosos a subredondeados con presencia de bloques de roca	
			Recien.						
			Pleistoceno	Med.	Form. San Sebastian		Qp_sa	Por deposición lacustre y transporte de medios fluviales	Arenas y Arillas intercaladas de color rojizo de origen lacustre, Fluvio-aluviales, con diatomias y niveles de turba
	NEOGENO	Plioceno		Botolito de Accha		PN-Qzm	Igneo	Cuarzo Monzonita	
				Form. Chinchero		Np_chi	Sedimentario en cuenca fluvial	Areniscas fedsapaticas, intercaladas con niveles de litas rojas de medios fluviales.	
	PALEOGENO	Oligoceno	Sup.	Form. Kayra	25.0	Poe_ka	Sedimentario en cuenca fluvial	Areniscas fedsapaticas, intercaladas con niveles de litas rojas de medios fluviales.	
			Inf.		40.0				
		Paleoceno	Inf.	Form Quilque	65.0	Pp_qu	Precipitación lacustre y fluvial continental	Lutitas lacustres rojo moradas, areniscas y microconglomerados fluviales con clastos calcareos, medios fluviales, presencia de carofitas.	
									Form. Ausangate
	MESOZOICO	CRETASICO	Superior		65.0	Ks-vi	Precipitación lacustre continental	Areniscas cuarzosas blancas en estratos gruesos a medios intercalados con limoarcilla y lodolitas de coloración gris verdosa, bien laminadas, intercaladas con calizas	
Form. Wilquechico									
Form. Ayavacas					Kis-ay				Precipitación en fondo marino
Form. Maras			135.0	Ki_ma		Precipitación en Plataforma continental	Halita, sulfatos, margas, fragmentos de caliza		
		Infior							

Fuente: “fortalecimiento del desarrollo de capacidades de ordenamiento territorial en la región cusco”.



Fotografía N°4: Aparente desplazamiento sobre la formación chincheros.



Fotografía N°5: Afloramiento caótico de calizas deformadas.



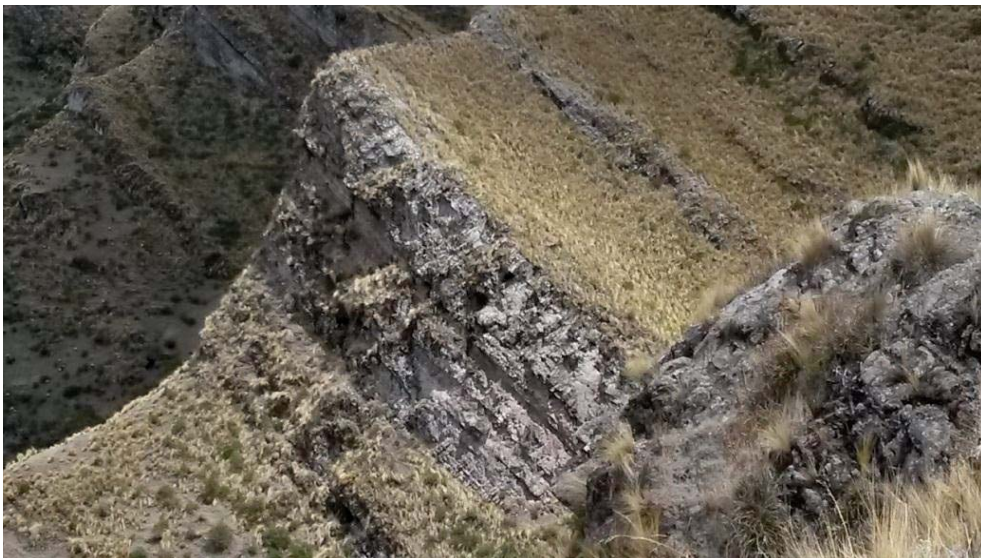
Fotografía N°6: Discontinuidad estructural; manifestación del fracturamiento intenso en la zona.



Fotografía N° 7: Fracción rocosa con clastos Angulosos y subredondeados; posiblemente de la Formación Kayra.



Fotografía N° 8: Fracción de arenisca de grano muy fino con buen empaque. Posiblemente sea de la Formación Muñani – Nivel inferior.



Fotografía N° 9: Estratos de areniscas grises con intercalaciones delgadas de lutitas. Parte alta de la microcuenca.



3.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y TECTONICA REGIONAL

La geología estructural de la zona se caracteriza por presentar evidencias de actividad tectónica, particularmente las fallas que quedan aquí circunscritas desencadenan fenómenos de geodinámica externa, y en algunos casos los reactivan; inevitablemente asociados a factores como las precipitaciones pluviales, que intensifican todavía más la magnitud de estos fenómenos de geodinámica externa.

3.4.1. Fallas

A escala regional los sistemas de fallas describen una orientación Noroeste-Sureste. En la región cusqueña, el sistema de fallas que limitan el Altiplano de la Cordillera Oriental se caracteriza por una evolución tectono-sedimentaria plio-cuaternaria, que en varios casos posee fallas activas producto de una extensión N-S que se caracteriza por presentar escarpas pleistocenas de aproximadamente 400 m de altura y escarpas holocenas de altura decamétrica (Cabrera, 1988).

La región posee una importante actividad sísmica cortical con varios sectores de fallas normales activas. Se considera como activa una falla que ha experimentado una o varias reactivaciones holocenas (últimos 10000 años).

Las fallas que se consideran activas en la región Cusco son las fallas de Zurite, Tambomachay y Qoricocha que serán descritas a continuación:

a) Falla Zurite

Tiene 24 Kms de extensión y una dirección E-W, La falla Zurite separa la depresión de Anta con la Cordillera Oriental. Hacia el bloque norte afloran las rocas del Grupo San Jerónimo mientras los sedimentos meso-cenozoicos, hacia el sur, constituyen un



bloque hundido; escondiéndose por debajo de la superficie. Antiguamente esta falla ha jugado como falla de rumbo sinistral inversa, sin embargo durante el cuaternario se a desenvuelto como una falla normal. Pequeños escarpes de dirección N100°-N115° y de buzamiento 60°S - 70°S caracterizan la actividad reciente de la falla, que afectan depósitos aluviales y morrénicos de edad cuaternaria (Cabrera, 1988).

b) Falla Tambomachay

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

c) Falla Tamboray

Es una falla de dirección N-S que separa el Altiplano de las Montañas del Cusco, esta se extiende en una longitud de 3.5 Km a una altitud promedio de 400 msnm. Esta falla se evidencia por un escarpe de 2 a 4 m, que indica movimientos recientes. Al igual que las fallas anteriores se trata de fallas normales.

d) Falla Qoricocha

De dirección E-W; está situada a 10 Km al norte de la Falla Tambomachay y tiene una longitud de 3 Km. Esa caracterizada por pequeños escarpes de orientación similar y muestran un movimiento normal. Esta falla afecta a los sedimentos cuaternarios y volcánicos plío-cuaternarios shoshoníticos. Cabrera a partir de observaciones neotectónicas (1988) indica



que el sismo del 5 de mayo de 1986 se debe a una reactivación en parte de la Falla Qoricocha.

3.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y TECTONICA LOCAL

3.5.1. Fallas locales

A nivel local encontramos un control neotectónico que viene del sistema de fallas regionales y de las fallas relativas a los juegos dextrales-sinestrales del Cusco que se ubican cercanas a la microcuenca Ccochapunqo.

a) Falla Sambor

Con una dirección E-W y un buzamiento al N, ubicada al norte de la localidad de Huarcocondo. Esta es una falla inversa que pone en contacto el Grupo San Jerónimo con el Grupo Yuncaypata.

b) Falla Huarcocondo

Con una dirección NE-SW y buzamiento NW se ubica al Oeste de la comunidad del mismo nombre.

Concluyendo, el sistema de fallas activas del Cusco define una zona estrecha de 10 Km de ancho y más de 100 Km de largo; sus direcciones varían entre E-W y SE-NW. Las reactivaciones quedan manifestadas a través de multiplicidad de escarpas que cortan el substrato y se presume que datan del pleistoceno tanto como del holoceno. De manera general se puede inferir que mínimamente dos reactivaciones holocenas han tenido lugar en el sistema de fallas del Cusco, con una recurrencia máxima de 5000 años.



Cada reactivación ha sido asociada a fuertes paleosismos con desplazamientos corticales decamétricos. El análisis estructural de las principales fallas normales activas de Cusco muestra una extensión de dirección N-S; que al parecer corresponde a un reajuste isostático entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental. Siendo esta última la que experimenta un alzamiento a causa de la compresión que acciona en el borde oriental.



CAPITULO IV: HIDROLOGÍA

4.1. INTRODUCCIÓN

El área de influencia del estudio se enmarca dentro de la cuenca fluvial media del río Vilcanota. Las aguas del río Ccochapunqo fluyen a la Depresión de Anta y se canalizan, junto a las del río Cachimayo y Ccasacunca, hacia el río Huarcocondo hasta verterse sobre la cuenca del río Vilcanota; constituyéndose en uno de los principales afluentes de la subcuenca de Anta.

El área de estudio se caracteriza por presentar un año hidrológico de dos estaciones marcadamente diferentes:

- Una estación de verano de precipitaciones esporádicas las primeras semanas y conspicuas hacia Febrero-Marzo. Esta estación de verano normalmente se extiende desde Diciembre hasta Abril.
- Una estación de invierno que corresponde al resto del año; es decir entre Mayo y Noviembre. Esta estación se caracteriza por escasas precipitaciones.

En la zona de estudio la precipitación media anual varía entre los 680.14 mm y los 774.1 mm. En el verano, particularmente entre enero y marzo es normal registrar cerca del 90% de la precipitación total media anual.



La esorrentía sigue de cerca el patrón de las precipitaciones, sobre todo respecto a su variabilidad; en años húmedos en los que la precipitación puede llegar hasta 774.1 mm, con precipitaciones máximas en 24hrs de 50.48 - 67.4 mm, la esorrentía se puede elevar entre 7 y 13 l/s y los caudales extremos pueden alcanzar los 0.027 m³/s.

La humedad es más alta en verano y puede alcanzar valores entre 70% - 80%. Durante el día este parámetro sigue el comportamiento de la temperatura con valores más altos en la noche cuando las temperaturas bajan y valores mínimos al medio día cuando la temperatura ambiental es alta. En la época seca, dígase la estación de invierno, la humedad es normalmente un 10% menor a la registrada en época de lluvias.

La temperatura media anual es del orden de los 12 °C. En razón a la latitud del área se tienen variaciones importantes en los diferentes meses del año. Las variaciones más importantes se dan en el día y la temperatura máxima puede alcanzar valores cercanos a los 18 °C en el día mientras que en las horas nocturnas desciende a los 5 °C.

4.2. DRENAJE

4.2.1 Río Ccochapunqo

El río Ccocha Punqo es un sistema fluvial dendrítico que contiene canales permanentes e intermitentes que cruzan los flancos de los cerros Moyontuyoc y Cuchicancha. Este drenaje está controlado estructuralmente y discurre sobre la Formación Muñani.



4.2.2 Río Ccasacunca

El río Ccasacunca corresponde al cauce principal de un sistema fluvial dendrítico y discurre sobre la Formación Soncco y el contacto con el Grupo Tacaza.

4.2.3 Río Cachimayo

Este es el río de mayor extensión ubicado en la depresión de Anta y su caudal aumenta considerablemente al encontrarse con el río Pitumayo, presenta una forma relativamente sinuosa y constituye parte de un sistema fluvial dendrítico.

4.2.4 Río Huarcoondo

Ubicado en la población de mismo nombre es el colector final del sistema de drenajes que recorre la depresión de Anta, por lo que su caudal puede variar de unos pocos litros por segundo a varias decenas hasta cientos de litros por segundo en períodos de tiempo cortos. Es un afluente directo de la cuenca del Vilcanota.

4.3 HIDROMETEOROLOGÍA

4.3.1 Meteorología

La precipitación promedio anual (PPA) en el área de estudio se estima en aproximadamente 986.72 mm, en base a la altura promedio de la cuenca hídrica de 3640 msnm y la relación orográfica.

$$PPA = 0.1747A \text{ (msnm)} + 91.2$$

Dónde: PPA = Precipitación Promedio Anual

A = Altura (msnm)



La precipitación varía fuertemente entre la temporada seca y húmeda en aprox. 90 % entre los meses de noviembre y marzo, y 10 % entre abril y noviembre. Esto se manifiesta en niveles altos de excedente hídrico o escorrentía total; que quedan disponibles para la escorrentía superficial o la recarga de agua subterránea.

4.3.2 Temperatura

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

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

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

Tabla N° 12: Temperatura promedio anual de media, máxima y mínima de la estación de Anta.

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



Temp. Mínima	5.4	5.4	4.9	2.7	-2.0	-4.5	-4.8	-2.7	0.4	3.1	4.1	4.9	1.42
---------------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-------------

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.

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

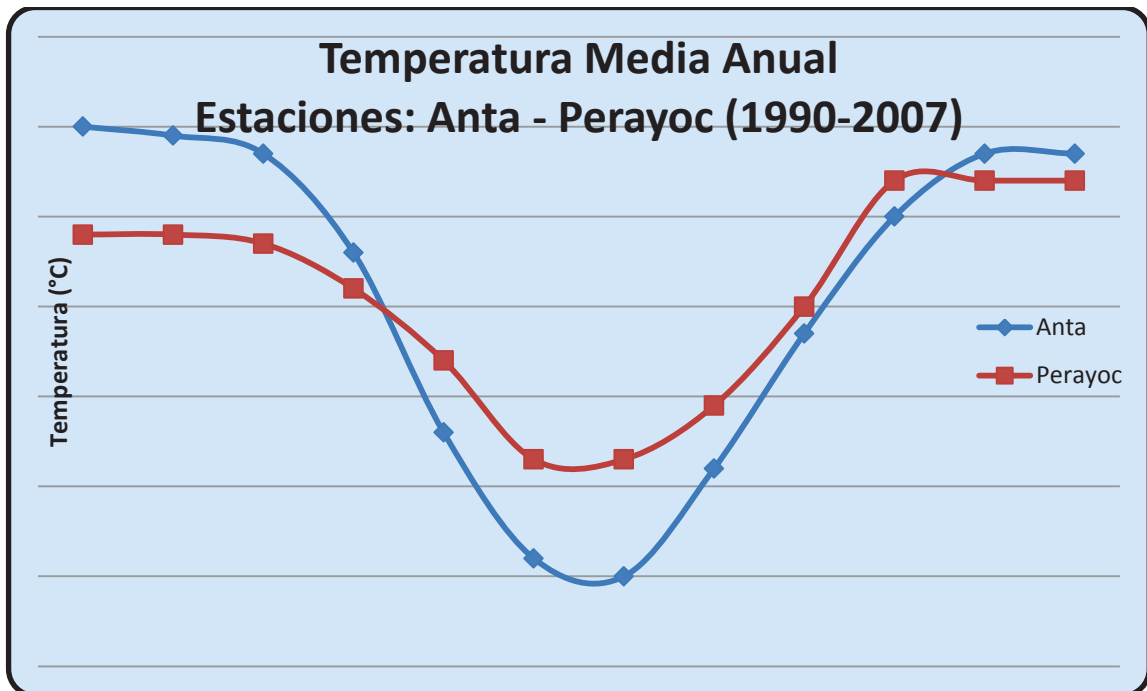
Tabla N° 12: Temperatura media de las estaciones Anta y Perayoc (1990-2007)

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

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.



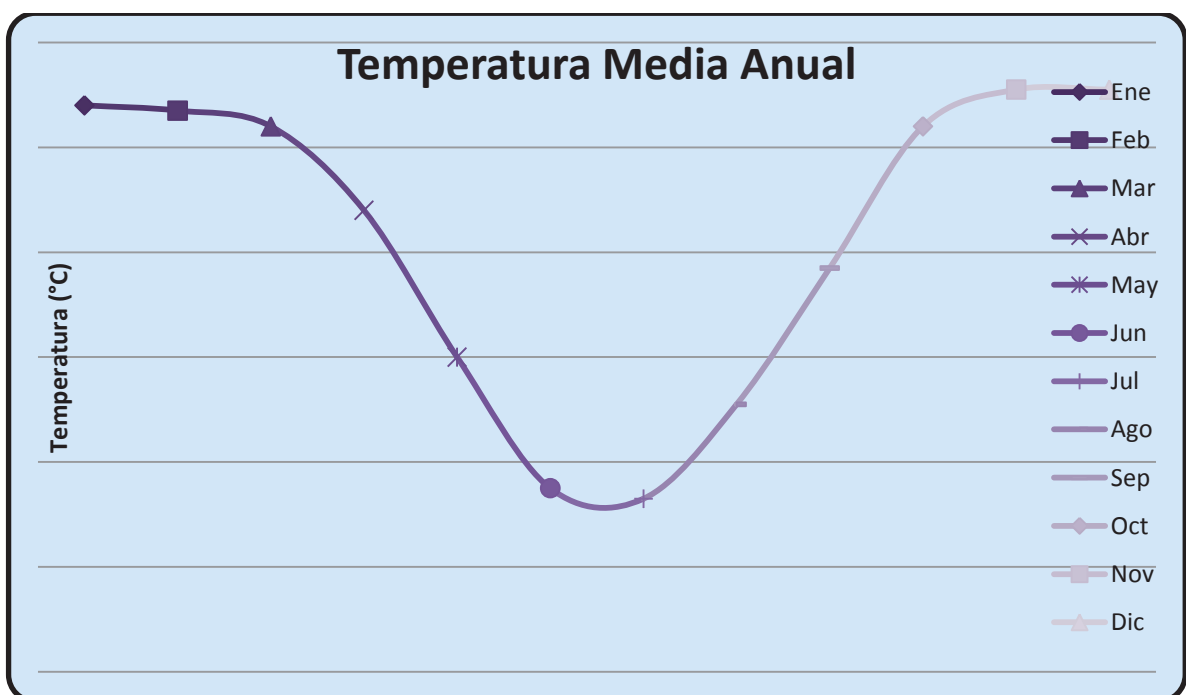
Grafico N° 03: Tendencia de las temperaturas medias anuales: Anta – Perayoc.



Fuente: Elaboración propia.

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

Grafico N° 04: Temperatura media anual de las estaciones de Anta y Perayoc



Fuente: Elaboración propia.



4.3.3 Evapotranspiración

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

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

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

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

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

4.3.3.1 Evapotranspiración real (Er)

La evapotranspiración real (Er) es el volumen de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en función del volumen de agua disponible.



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

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

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

Dónde:

E_r = Evapotranspiración real (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

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

T = Temperatura media anual ($^{\circ}C$)

Esta es la fórmula en la que la T es la temperatura media anual del aire en $^{\circ}C$, que expresa el poder evaporante de la atmosfera y es aplicable a todos los climas: áridos, húmedos, fríos y cálidos.

Para la microcuenca de Cachimayo aplicando esta fórmula se tiene:

$P = 832.1$ mm

$T = 11.12$

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

$L = 646.75$ mm

Entonces:

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

Evapotranspiración Real: $E_r = 523$ mm.



4.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para la realización del presente análisis se obtuvo información proveniente de una red de 3 estaciones meteorológicas que se encuentran circundantes al área de estudio.

Las estaciones que gozan de cierta confiabilidad son las de Perayoc-Ciudad Universitaria, Anta-Ancachuro y Kayra.

4.4.1 Información disponible

Para fines de esta evaluación, los registros de una determinada estación se consideraron útiles en función de los siguientes criterios:

- Cercanía al área de estudio
- Altitud similar a la del área de estudio
- Períodos de registro suficientes para analizar series pluviométricas mínimas de 20 años.

4.5 TRATAMIENTO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

De acuerdo con Vito Aliaga, se deberá entender que con “tratamiento” se refiere al ajuste de datos históricos a una condición homogénea; es decir, homogeneizar las series hidrometeorológicas. Este proceso incluye la evaluación y eliminación de los errores sistemáticos, la completación y extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales.

Para ello, se debe contar con suficientes datos (calidad y cantidad) que permita reducir cualquier sesgo subjetivo y/o personal y sobre todo para dar confiabilidad a las aplicaciones que se necesitan de ella.

Primeramente se realiza un análisis de consistencia de la información disponible mediante métodos estadísticos, que indicará si la información es confiable o no. Luego se realiza el proceso de completación y extensión de datos, usando métodos confiables.



4.5.1 Análisis de Consistencia

Cualquier cambio en la ubicación como en la exposición de un pluviómetro puede conllevar un cambio relativo en la cantidad de lluvia captada por el pluviómetro.

La no homogeneidad e inconsistencia en series histórico hidrológicas de datos constituye uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología contemporánea, sobretodo en referencia a la gestión de los recursos hídricos debido a que al no identificarse y ajustarse a condiciones reales, esta, puede acarrear y transmitir errores que se van haciendo cada vez más significativos a medida que avanzan los análisis, sesgando los resultados finales.

La inconsistencia es un error sistemático y se presenta como saltos y tendencias interpretables gráficamente. Si un registro completo publicado representara condiciones inexistentes se definirá como *inconsistente*.

La No-homogeneidad se define a partir de las variaciones en el registro de los datos (ambientales y antrópicas) y se puede detectar mediante el método de las curvas doble masa.

El uso de esta técnica permitió analizar la consistencia de los registros de la estación Anta.

Este análisis solo permite determinar el grado de error en el proceso del registro. La corrección se realizó posteriormente.

Tabla N° 14: Precipitación total mensual-anual estación Anta-Ancachuro

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1990	129.8	59.3	24.6	3.2	0.0	36.6	0.0	16.6	15.0	122.4	86.8	36.6	530.9
1991	53.9	180.3	123.0	27.5	0.0	23.3	0.0	0.0	4.4	44.6	---	69.0	526
1992	130.6	136.0	40.8	18.8	3.8	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	346.8
1993	145.1	428.7	107.3	35.9	6.8	0.0	0.0	22.8	59.4	192.4	224.4	565.8	1788.6

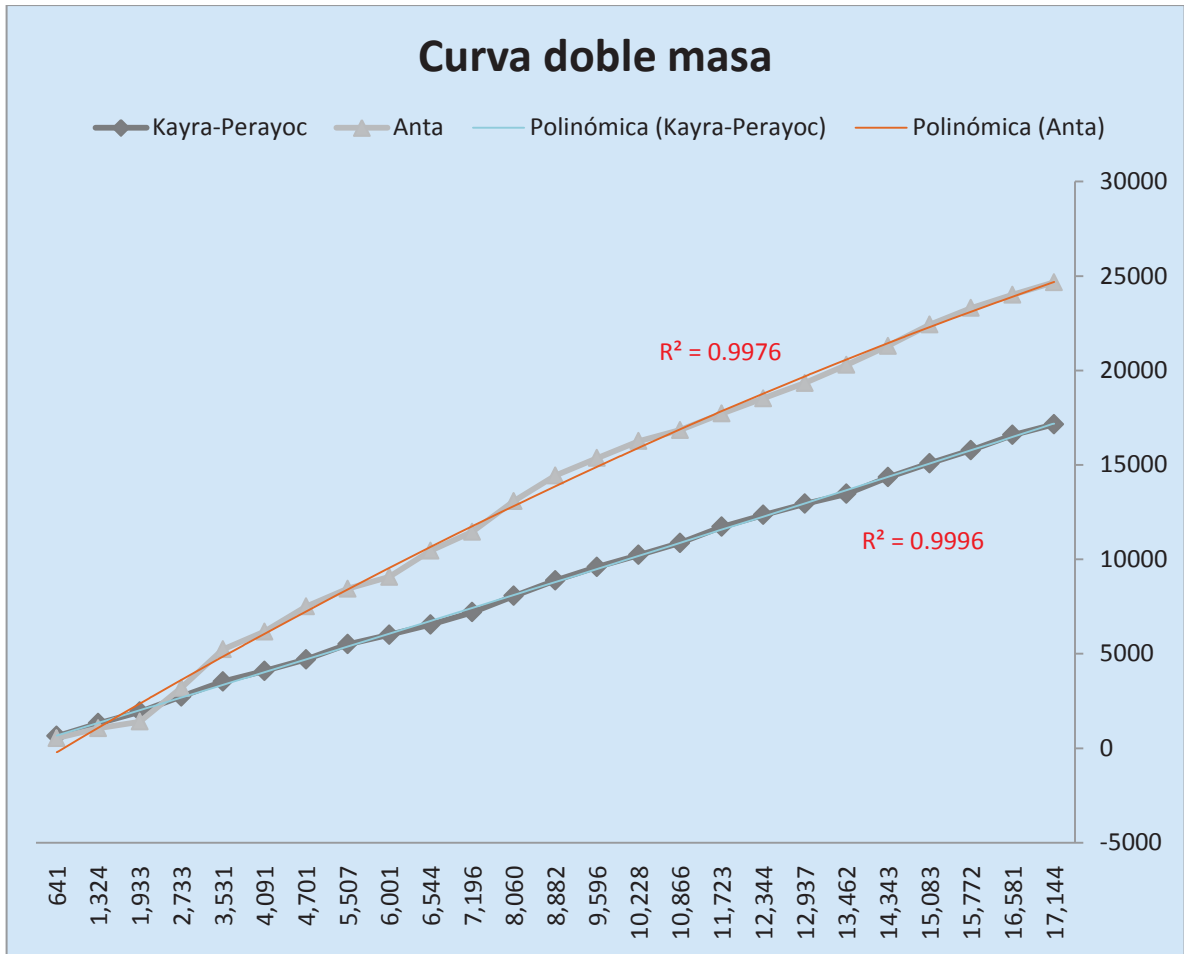


1994	588.0	384.1	418.9	49.1	32.5	---	0.0	0.3	39.5	87.0	186.0	255.7	2041.1
1995	194.7	47.5	224.9	19.9	1.8	5.2	0.6	0.0	22.8	15.6	94.6	313.3	940.9
1996	414.5	359.5	122.8	29.2	4.8	0.6	0.2	13.3	18.8	44.0	87.3	234.0	1329
1997	---	126.9	158.9	26.4	8.8	0.0	0.0	15.5	7.1	67.5	165.3	362.8	939.2
1998	163.7	128.6	131.6	---	0.0	3.4	0.0	0.3	11.5	62.8	60.8	65.1	627.8
1999	294.2	341.0	193.1	73.3	0.8	0.0	0.2	6.2	60.9	91.5	110.4	211.3	1382.9
2000	188.0	210.7	143.8	40.8	1.6	18.5	0.6	5.4	13.9	147.7	43.6	189.7	1004.3
2001	514.5	186.2	404.9	33.7	11.4	0.0	40.0	37.0	19.4	150.1	89.3	135.4	1621.9
2002	185.4	296.7	220.1	78.5	25.6	16.9	76.0	9.9	59.8	105.8	114.8	170.8	1360.3
2003	170.3	180.4	215.1	23.9	7.0	7.5	0.0	31.2	10.8	65.1	39.1	173.0	923.4
2004	251.7	182.5	53.4	47.8	2.5	26.9	25.7	11.1	35.2	51.9	86.2	122.8	897.7
2005	109.3	97.3	88.6	35.6	1.8	0.0	4.0	11.8	9.0	30.6	64.6	129.6	582.2
2006	212.6	143.8	143.5	68.8	0.3	13.6	0.0	1.6	5.4	68.4	100.9	116.3	875.2
2007	121.3	114.8	92.7	95.1	30.4	0.0	0.8	0.0	2.6	71.0	89.9	184.4	803
2008	146.7	124.4	89.7	18.1	8.2	1.5	0.0	8.5	14.6	122.8	161.0	117.7	813.2
2009	162.9	173.1	96.	11.0	14.9	0.0	19.3	0.0	17.5	34.8	288.7	132.3	950.5
2010	289.0	194.2	148.5	26.4	1.2	5.2	3.4	3.5	12.1	89.6	54.7	184.9	1012.7
2011	139.5	269.3	214.8	78.9	13.6	10.3	11.0	16.6	52.2	89.4	72.8	152.5	1120.9
2012	136.3	177.8	110.6	47.5	1.8	2.8	4.4	0.0	45.1	26.8	135.3	197.7	886.1
2013	161.6	151.1	75.6	7.0	---	6.1	0.1	18.3	3.2	104.5	11.5	158.9	697.9
2014	134.5	122.0	71.1	46.3	8.9	0.0	0.0	1.3	11.5	62.9	37.6	169.4	665.5

Fuente: SENAMHI



Grafico N° 05: Curva de Doble Masa de Precipitación Período 1990 -2014



Fuente: Elaboración propia

4.6 PRECIPITACIÓN

4.6.1 Generalidades

En la región andina, las lluvias se originan en parte por las corrientes húmedas provenientes del Océano Pacífico y de la Cuenca Amazónica hasta alcanzar altitudes mínimas de condensación. El punto de condensación para la vertiente occidental de la cordillera de los andes ocurre a mayor altitud por la influencia de las corrientes de Humboldt y las corrientes de aire de la Cuenca Amazónica son más húmedas; lo que produce mayor precipitación de este lado de la cordillera de los andes (Vertiente del Atlántico).



Las precipitaciones se presentan por lo general en las tardes, evidenciando la convectividad del fenómeno. Entre los 3500 msnm y los 4500 msnm la pluviosidad es principalmente líquida, paralelamente, por encima de esas cotas la tendencia es hacia la precipitación solida (granizo, nieve).

Esta nieve o granizo se acumula sobre la superficie del terreno por periodos cortos de tiempo antes de derretirse con los primeros rayos del sol; lo que indica que toda forma de precipitación escurrirá corto tiempo después de haber sido registrada, y además que ninguna parte de la escorrentía corresponde a precipitaciones sólidas de meses anteriores

Particularmente en el área de estudio la precipitación ocurre en forma de lluvia. Entre los meses de Diciembre a Marzo se concentra hasta el 90% de la precipitación total anual, con valores máximos hacia Enero, luego los registros descienden de manera importante entre Abril y Noviembre alcanzando la máxima depresión generalmente en Julio; los meses de Abril, Octubre, Noviembre son periodos transicionales de lluvias aisladas y un régimen de precipitaciones escasas.

4.6.2 Información Disponible

Se dispuso de la siguiente información, en su mayoría registrada en los archivos del SENAMHI:

- Registros de Precipitación Total Mensual de la estación meteorológica de la Ciudad Universitaria de Perayoc.
- Registros de Precipitación Total Mensual de la estación meteorológica de la ciudad universitaria de Kayra.
- Registros de Precipitación Total Mensual de la estación meteorológica de Anta-Ancachuro.



Tomando en cuenta la ubicación de la zona de estudio, la estación meteorológica más cercana es la de Anta-Ancachuro; dicha estación cuenta con un registro continuo de precipitaciones desde 1985, lo que posibilita trabajar sobre la base de una serie pluviométrica histórica y la califica para su utilización. Es con esta consideración elemental que la estación meteorológica, más adecuada a los criterios mínimos de confiabilidad, que se utilizó para el análisis pluviométrico es la de Anta-Ancachuro situada aproximadamente a 400 mts por debajo de la cota promedio de la cuenca Ccochapunqo, en los 3354 msnm.

Tabla N°15: Estación meteorológica Anta-Ancachuro

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Registros Disponibles	Registro operado por:
Anta	13°28'20.8''	72°13'09.9''	3354	1990-2014	SENAMHI

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.

Tabla N° 16: Precipitación Total Mensual y Anual (mm) Estación meteorológica Anta-Ancachuro

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1990	129.8	59.3	24.6	3.2	0.0	36.6	0.0	16.6	15.0	122.4	86.8	36.6	530.9
1991	53.9	180.3	123.0	27.5	0.0	23.3	0.0	0.0	4.4	44.6	---	69.0	526
1992	130.6	136.0	40.8	18.8	3.8	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	346.8
1993	145.1	428.7	107.3	35.9	6.8	0.0	0.0	22.8	59.4	192.4	224.4	565.8	1788.6
1994	588.0	384.1	418.9	49.1	32.5	---	0.0	0.3	39.5	87.0	186.0	255.7	2041.1
1995	194.7	47.5	224.9	19.9	1.8	5.2	0.6	0.0	22.8	15.6	94.6	313.3	940.9



1996	414.5	359.5	122.8	29.2	4.8	0.6	0.2	13.3	18.8	44.0	87.3	234.0	1329
1997	---	126.9	158.9	26.4	8.8	0.0	0.0	15.5	7.1	67.5	165.3	362.8	939.2
1998	163.7	128.6	131.6	---	0.0	3.4	0.0	0.3	11.5	62.8	60.8	65.1	627.8
1999	294.2	341.0	193.1	73.3	0.8	0.0	0.2	6.2	60.9	91.5	110.4	211.3	1382.9
2000	188.0	210.7	143.8	40.8	1.6	18.5	0.6	5.4	13.9	147.7	43.6	189.7	1004.3
2001	514.5	186.2	404.9	33.7	11.4	0.0	40.0	37.0	19.4	150.1	89.3	135.4	1621.9
2002	185.4	296.7	220.1	78.5	25.6	16.9	76.0	9.9	59.8	105.8	114.8	170.8	1360.3
2003	170.3	180.4	215.1	23.9	7.0	7.5	0.0	31.2	10.8	65.1	39.1	173.0	923.4
2004	251.7	182.5	53.4	47.8	2.5	26.9	25.7	11.1	35.2	51.9	86.2	122.8	897.7
2005	109.3	97.3	88.6	35.6	1.8	0.0	4.0	11.8	9.0	30.6	64.6	129.6	582.2
2006	212.6	143.8	143.5	68.8	0.3	13.6	0.0	1.6	5.4	68.4	100.9	116.3	875.2
2007	121.3	114.8	92.7	95.1	30.4	0.0	0.8	0.0	2.6	71.0	89.9	184.4	803
2008	146.7	124.4	89.7	18.1	8.2	1.5	0.0	8.5	14.6	122.8	161.0	117.7	813.2
2009	162.9	173.1	96.	11.0	14.9	0.0	19.3	0.0	17.5	34.8	288.7	132.3	950.5
2010	289.0	194.2	148.5	26.4	1.2	5.2	3.4	3.5	12.1	89.6	54.7	184.9	1012.7
2011	139.5	269.3	214.8	78.9	13.6	10.3	11.0	16.6	52.2	89.4	72.8	152.5	1120.9
2012	136.3	177.8	110.6	47.5	1.8	2.8	4.4	0.0	45.1	26.8	135.3	197.7	886.1
2013	161.6	151.1	75.6	7.0	---	6.1	0.1	18.3	3.2	104.5	11.5	158.9	697.9
2014	134.5	122.0	71.1	46.3	8.9	0.0	0.0	1.3	11.5	62.9	37.6	169.4	665.5

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.

Tabla N°17: Estación meteorológica Kayra

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Registros Disponibles	Registro operado por:
Kayra	13°24'58''	71°50'59''	3147	1990-20014	SENAMHI

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.



Tabla N°18: Precipitación Total Mensual y Anual (mm)

Estación meteorológica Kayra

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0.0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5	641.1
1991	97.6	163.6	105.2	45.1	11.0	5.1	1.5	0.0	21.4	49.3	83.6	99.0	682.4
1992	114.1	102.4	104.0	14.9	0.0	19.4	0.0	21.4	8.0	50.7	117.4	57.0	609.3
1993	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0.0	2.7	6.9	18.0	46.2	111.9	201.5	799.9
1994	177.0	163.9	173.9	45.5	11.8	0.0	0.0	0.0	25.7	40.2	40.5	119.9	798.4
1995	122.0	94.8	95.3	17.8	0.0	0.0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	560.0
1996	131.9	98.0	70.5	32.3	11.0	0.0	0.0	6.3	19.6	58.4	49.0	133.2	610.2
1997	123.3	127.7	104.8	31.0	4.8	0.0	0.0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4	805.3
1998	116.3	156.2	22.6	31.0	1.6	1.9	0.0	1.6	4.3	49.8	49.7	58.9	493.9
1999	89.3	92.2	92.0	42.8	1.3	3.4	1.0	0.0	43.1	18.8	39.7	119.5	543.1
2000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82.0	652.0
2001	233.0	173.1	137.4	36.4	11.5	0.0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4	864.1
2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4	822.1
2003	163.9	135.5	142.9	56.5	2.0	6.4	0.0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8	713.7
2004	173.7	125.8	66.5	21.0	2.4	20.5	17.0	9.0	21.7	25.6	60.9	87.9	632.0
2005	140.8	130.6	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4.0	4.5	39.1	59.3	102.5	638.9
2006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0.0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2	856.3
2007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0.0	4.0	0.0	1.0	49.4	72.4	88.4	621.4
2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0.0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9	592.4
2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0.0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9	525.5
2010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0.0	1.4	4.7	8.2	70.0	40.0	172.7	881.1
2011	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0.0	38.9	37.4	60.2	110.2	739.7
2012	70.5	167.7	41.7	48.1	4.5	1.2	0.0	0.1	18.4	19.5	138.2	179.5	689.4
2013	180.5	137.2	75.5	13.0	25.3	6.1	2.0	12.4	6.3	105.0	86.0	159.4	808.7



2014	161.9	116.5	36.5	35.0	10.1	0.0	3.2	5.8	12.6	---	29.6	152.1	563.3
-------------	-------	-------	------	------	------	-----	-----	-----	------	-----	------	-------	-------

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.

4.6.3 Análisis de Precipitación

a) Precipitación Promedio Anual en el área de estudio

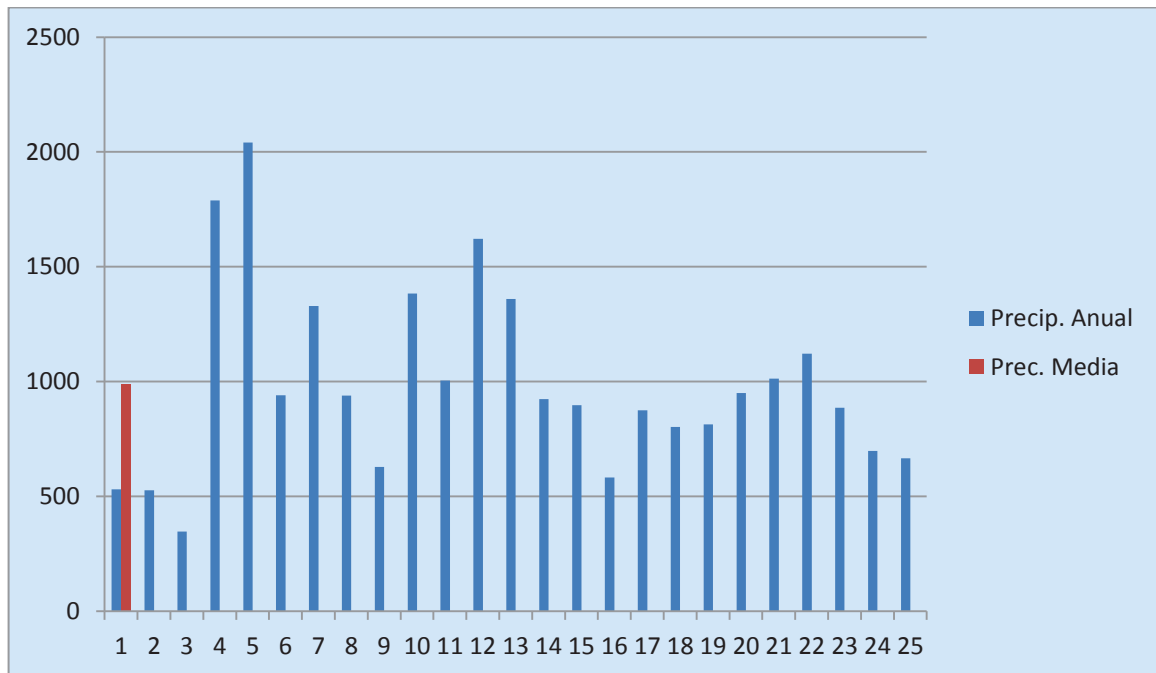
Cuando se desea tener una idea del comportamiento hidrológico de la precipitación media anual necesitamos tomar en cuenta la precipitación en relación a las cotas sobre las que se desarrolla.. Las estaciones analizadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°19: Estaciones Pluviométricos Analizadas

Estación Pluviométrica	Altitud (msnm)	PMA (mm)
Kayra	3147	685.77
Anta	3354	986.72

Fuente: Boletín meteorológico UNSAAC.

Figura N°: 06 Precipitación Media Anual (mm/año)



Fuente: Elaboración propia.



Se determina que la estación pluviométrica de Anta-Ancachuro muestra una data confiable debido a que los valores que se obtendrán de la Curva Precipitación-Altitud son valores medios aproximados.

De la figura anterior no podemos dejar de mencionar que la Precipitación Media de la serie pluviométrica es 986.72 mm.

La estación Anta-Ancachuro se ha seleccionado para la evaluación de la distribución mensual de las precipitaciones.

b) Precipitación Promedio Mensual en el área de estudio

A partir del análisis de la información de precipitación, es posible observar que alrededor del 90% de la precipitación total anual se espera para los meses de Diciembre a Marzo. De otro lado históricamente el mes de Enero se registra como el más lluvioso y Junio como el más seco. Del análisis de las precipitaciones se determina el valor de 82.23mm es la precipitación promedio mensual.

Corresponde mencionar que para propósitos de la evaluación de impacto ambiental que utiliza como variable hidrológica de análisis el caudal de los ríos (escorrentía), se adoptó como época húmeda el período entre Enero y Abril debido a que en estos meses se genera aproximadamente el 80% de la escorrentía total anual.

Para establecer la distribución mensual de la precipitación se decidió primero comparar la distribución mensual promedio en el período 1990-2010 en las estaciones Anta-Ancachuro, Perayoc, y Kayra; verificando que las tres estaciones registran una distribución mensual claramente similar. Se decidió aceptar que la distribución en el área de estudio cumple el mismo patrón general que las estaciones Anta-Ancachuro y Kayra para todo el período de registro disponible (1990-2014).

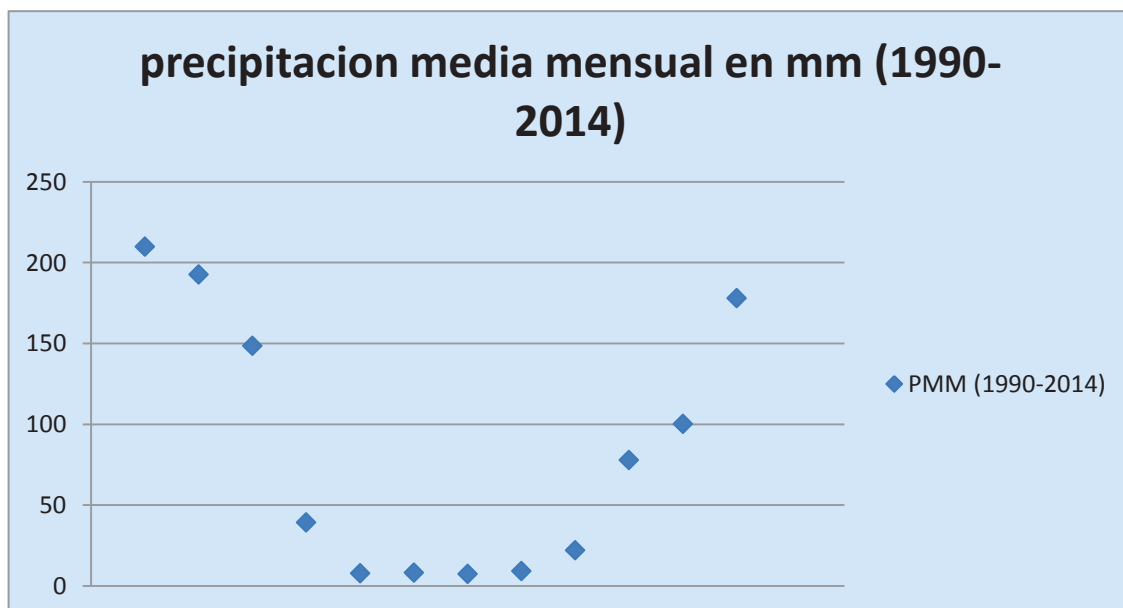


Tabla N°20: Precipitación Anual Media y Distribución Mensual para el Área de Estudio

Mes	Precipitación (mm)	Distribución de la precipitación (%)
Enero	209.920833	21.27
Febrero	192.648	19.52
Marzo	148.572	15.06
Abril	39.2791667	3.98
Mayo	7.85416667	0.80
Junio	8.13333333	0.82
Julio	7.452	0.76
Agosto	9.248	0.94
Septiembre	22.068	2.24
Octubre	77.968	7.90
Noviembre	100.233333	10.16
Diciembre	177.96	18.04
Total	986.72	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 07: Estación Meteorológica Anta-Ancachuro: Precipitaciones Medias Mensuales



Fuente: Elaboración propia.



c) Análisis Probabilístico para Años Húmedos y Secos

La distribución media de la precipitación se estimó considerando, si los años que se analizan son secos o húmedos, separando para ello los registros de la estación Anta en años con precipitación mayor y menor a su media (82.23mm). Como distribución representativa de los años secos se usó la distribución promedio de los registros menores al primer cuartil de aquellos años por debajo de la media (i.e. 5 años más secos), mientras tanto para aquellos años por encima de la media se utilizó la distribución promedio de los registros mayores al tercer cuartil (i.e. 4 años más húmedos). Las respectivas distribuciones medias se muestran en la Tabla N°16.

Tabla N°21: Distribución para el año más Húmedo y más Seco que el Promedio

Estación Meteorológica Anta				
Mes	Año seco		Año Húmedo	
	mm	(%)	mm	(%)
Enero	120.3	21.5113	325.88571	21.421
Febrero	120.583333	21.562	323.64285	21.274
Marzo	79.95	14.296	240.27143	15.794
Abril	26.28	4.699	54.085714	3.555
Mayo	2.41666667	0.43	13.642857	0.8964
Junio	13.35	2.387	4.6333333	0.304
Julio	0.66666667	0.119	18.2	1.1963
Agosto	5	0.894	15.157142	0.996
Septiembre	8.56666667	1.532	44.285714	2.911
Octubre	53.8833333	9.635	108.6	7.138
Noviembre	49.96	8.934	126.42857	8.3103

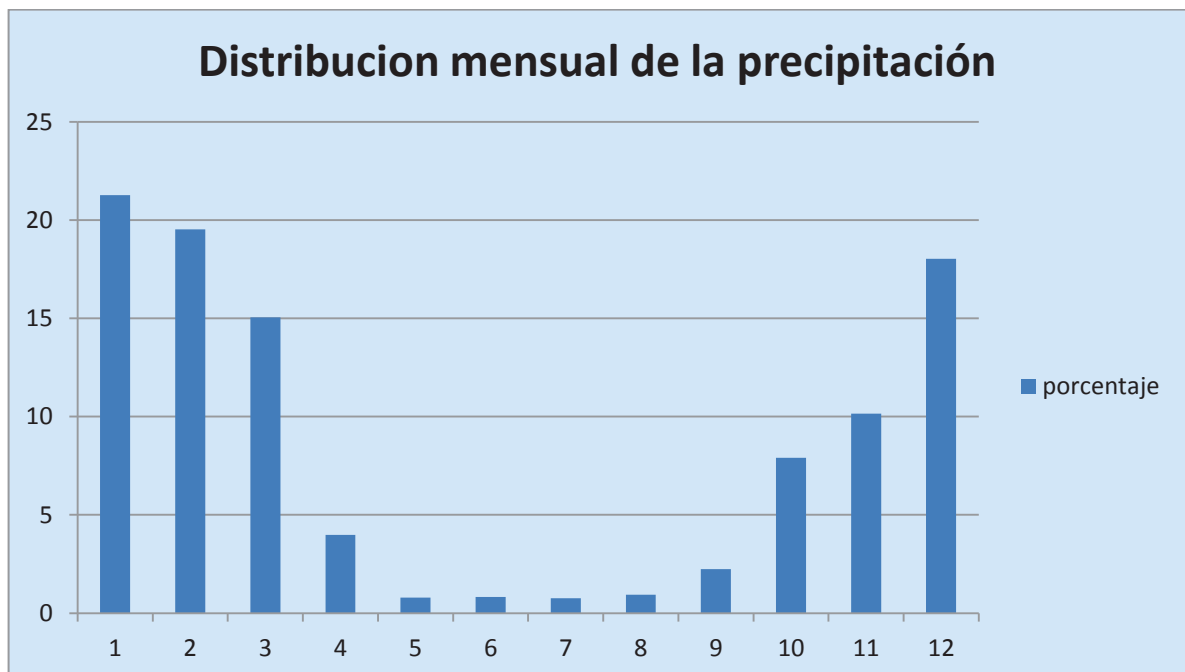


Diciembre	78.2833333	13.998	246.5	16.203
Total	559.24	100	1521.33333	100

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla N° 21 la época seca corresponde al período del año entre los meses de Mayo a Noviembre y la época húmeda que corresponde al período de inicios de Diciembre hasta Abril. En la época húmeda la precipitación según los registros de Anta-Ancachuro, puede alcanzar el 90% del promedio anual. Utilizando los registros de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio fue obtenida una correlación entre estos parámetros, la misma que se muestra en la siguiente figura:

Figura N° 08: Estación Anta-Ancachuro: Distribución Mensual de la Precipitación



Fuente: Elaboración propia.



Mediante el análisis probabilístico a partir de la serie de largo plazo generada para el área de estudio se estimó la precipitación anual para varios períodos de retorno, la cual se presenta en la siguiente Tabla.

Para distribuir mes a mes los valores totales anuales generados se consideró la distribución correspondiente a años secos cuando la probabilidad de ocurrencia resultó menor o igual a “Baja” para 20 años y la respectiva a años húmedos cuando la probabilidad de ocurrencia fue menor o igual a “Alta” para un período de retorno de 20 años. Para años intermedios se utilizó la distribución promedio.

Tabla N°22: Precipitación Mensual y Anual para Diferentes Períodos de Retorno

Precipitación													
Ocurrencia	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Baja en 100 años		109.7	82.2	52.2	6.3	2.9	2.4	3	5	12.3	18.5	47.3	79.5
Baja en 50 años		121.3	107.5	68.1	11	3.5	3.3	4.2	5.6	12	34.3	61.1	109.6
Baja en 20 años		147.5	133	82.2	17.9	5.2	4	5	7.2	13.8	47.6	70.6	130.2
Baja en 10 años		164.1	146.3	98.3	26.2	5.6	6.5	5.8	8.3	15.1	65	80	150.3
Baja en 5 años		188.4	170	120.6	33	7.1	7.6	7	8	17.5	70.3	92.1	170
Promedio	986.7	209.9	192.6	148.6	39.28	7.8	8.1	7.5	9.2	22.1	77.9	100.2	177.9
Alta en 5 años		231.7	223.3	169	45.6	9.4	10.6	8.1	12	30.2	91.6	112.2	212.5
Alta en 10 años		267.2	245.9	200.6	52.1	16	16.6	9.7	17.7	43.3	109	135.5	236.8



Alta en 20 años		300	270.	227.	67.3	23.	21.	16.	29.	51.	125.	157	263.
			3	9		8	3	6	9	1	3		1
Alta en 50 años		350.	307.	260.	75.8	30.	29.	31.	35.	59.	150.	170.	287
		8	6	2		1	6	1	5	4	9	7	
Alta en 100 años		390.	339	300.	89.3	38.	39.	50	42.	65.	179.	206.	334.
		4		3		8	7		6	2	5	8	2

Fuente: elaboración Propia.

d) Precipitación Máxima de 24 Horas en el área del proyecto

La intensidad de la lluvia influye notoriamente en el uso del suelo. Las lluvias violentas pueden ocasionar importantes daños, degradación de la estructura del suelo, erosión, inundaciones, daños mecánicos en cultivos, etc. Aunque estudiamos aquí la precipitación máxima en 24 h (pues son los datos disponibles), en ocasiones son más interesantes las precipitaciones máximas en períodos de tiempo más cortos, por lo que se debería acudir a sistemas de estimación.

El estudio de las precipitaciones máximas es necesario en múltiples aplicaciones. Así en hidrología para la estimación de avenidas es necesario conocer el valor de la máxima precipitación probable registrada para un determinado período de retorno. El "período de retorno o de recurrencia" (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez (Elías y Ruiz, 1979). Así, si la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de X años en un determinado observatorio es de Y mm/24 horas, significa que es posible que un fenómeno de "Y" mm de precipitación en 24 horas se repita o sea superado por lo menos una vez en "X" años.

Tanto para el estudio de la erosión, como para el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos e hidráulicas, es necesario el estudio de las precipitaciones máximas. El período de retorno será mayor cuanto mayor sea la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Así la necesidad de



disponer de amplios períodos de retorno contrasta con la disponibilidad de series de datos climatológicos, por lo que se debe recurrir a estimaciones estadísticas.

La tabla N°23 muestra estimaciones de precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno a partir de datos de la estación Anta para el periodo 1990 – 2014.

Tabla N°23: Precipitación Máximas de 24 hrs

Período de Retorno (años)	Precipitaciones Máximas de 24 hrs (mm) método SQRT-ET máx
	Estación Anta
5	21.9
10	30.8
20	39.8
50	49.5
100	68.2

Fuente: Senamhi, 2015.

4.7 CAUDAL

4.7.1 Determinación del flujo base de la cuenca Ccochapunqo.

La medición del flujo en la zona de trabajo se realizó en relación directa al análisis del caudal de los ríos y las surgencias acuíferas aguas arriba, abordando el mapeo hidrológico de las nacientes con aforos alcanzando un inventario de fuentes y usos de agua.

- Río Ccocha Punqo
- Afluente A
- Afluente B
- Naciente A1



- Naciente B1
- Naciente C

El alcance del presente trabajo involucra la recopilación de resultados de medición de caudal para las épocas seca y húmeda.

4.7.2 Resultado de mediciones manuales del flujo.

Tomando como criterio los datos de caudales medidos, se consideró como época húmeda el período comprendido entre enero de 2014 y abril de 2014, los demás meses corresponden a la época seca.

Esta información esta intrínsecamente relacionada con la presentada en el inventario de fuentes de agua.

4.7.3 Resultados en Epoca Seca

Se midió el flujo en los cursos de agua de la cuenca del río Ccochapunqo en seis puntos durante la época seca del año 2014. Ninguno de estos superó los 20.0 L/s. El registro de los flujos medidos en época seca en el área de estudio se muestra en la Tabla N° 24.

Tabla N°20 Puntos de Medición de caudales para la época seca

Código del Punto	Descripción	Caudales Medidos en Época Seca		
		Este	Norte	L/s
AF – A	Afluente	817529.93 m	8503775.90 m	7.8
AF – B	Afluente	816739.80 m	8503658.16 m	6
N - A1	Naciente	817467.72 m	8503085.24 m	3.7
N - B1	Naciente	816652.20 m	8503205.28 m	2.9
N – C	Naciente	815985.28 m	8503936.92 m	2.4
R. Ccochapunqo	Curso principal	816654.58 m	8504389.05 m	15.8

Fuente: Elaboración Propia.



4.7.4 Resultados en Época Húmeda

Se midió el flujo en los cursos de agua de la cuenca del río Ccocha Punqo en cinco puntos durante la época húmeda del año 2014. Ninguno de estos superó los 30.0 L/s. El registro de los flujos medidos en época seca en el área de estudio se muestra en la Tabla N° 21.

Tabla N°21 Puntos de Medición de caudales para la época húmeda

Código del Punto	Descripción	Caudales Medidos en Época Húmeda		
		Este	Norte	L/s
AF – A	Afluente	817529.93 m	8503775.90 m	14
AF – B	Afluente	816739.80 m	8503658.16 m	10.8
N - A1	Nasciente	817467.72 m	8503085.24 m	9.3
N - B1	Nasciente	816652.20 m	8503205.28 m	6.4
N – C	Nasciente	815985.28 m	8503936.92 m	4.2
R. Ccochapunqo	Curso principal	816654.58 m	8504389.05 m	27.3

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.5 Análisis de Caudales

4.7.5.1 Régimen de Caudales

El desarrollo de la escorrentía es directamente proporcional a la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, así cualquier variación de estas se traducirá en un cambio en la dimensión de las avenidas. En particular la microcuenca Ccochapunqo posee una respuesta medianamente dinámica en cuanto a la distribución de la escorrentía, siendo poco probable la incidencia de desbordes fluviales derivados de avenidas extremas. De forma general se puede decir que los datos históricos muestran una tendencia



hacia la muda de las temporadas húmeda y seca alrededor de un mes después de lo normal, por lo que el mes de diciembre pasa a ser considerado como un mes de transición y la temporada húmeda quedaría comprendida entre Enero y Marzo.

4.7.6 Escorrentía

4.7.6.1 Estimación del volumen medio anual de escurrimiento

De acuerdo al análisis que se haga de una cuenca, tomando en consideración: las pendientes principales, la forma de concentración de las aguas, la cubierta vegetal existente, la permeabilidad de los terrenos y algunos otros datos de interés, se podrá determinar el coeficiente de escurrimiento que deba aplicarse en cada caso particular, sea a través de tabulares de valores experimentales reportados en la literatura, o por comparación de cuencas que guarden semejanzas con la estudiada. En caso de carecer de datos físicos de la cuenca, se tomará - de acuerdo con las prácticas hidrológicas habituales - un coeficiente de 0.12 (S.R.H.).

El volumen medio de escurrimiento pondera, a través del coeficiente de escurrimiento, el efecto diferencial de las distintas combinaciones de suelos y vegetación presentes en una cuenca (Unidades de Respuesta Hidrológica). El valor medio se determina con la siguiente expresión:

$$Vm = Ac * Pm * Ce$$



Dónde:

V_m = Volumen medio anual escurrido, m³.

A_c = Area de la cuenca.

P_m = Precipitación media anual, m.

C_e = Coeficiente de escurrimiento

$$V_m = 0.456 \text{ m}^3$$

4.7.6.2 Coeficiente de escorrentía

Con el objetivo de caracterizar el coeficiente de escurrimiento se consideró lo siguiente:

- De la campaña de aforos de caudal se pudo establecer que el coeficiente de escorrentía promedio para el área de estudio en el período Diciembre de 2013 – Abril 2014 fue de 0.30.

$$C_e = 0.30$$

4.7.7. Caudal Mínimo

Debido a la falta de un registro limnigráfico consistente y/o de una estación meteorológica en la zona de estudio se usó el método aritmético hidrográfico; este consistió en utilizar el coeficiente de escurrimiento en relación a las precipitaciones promedio mensuales para diferentes probabilidades de ocurrencia ajustadas las propiedades geométricas del cauce del río.

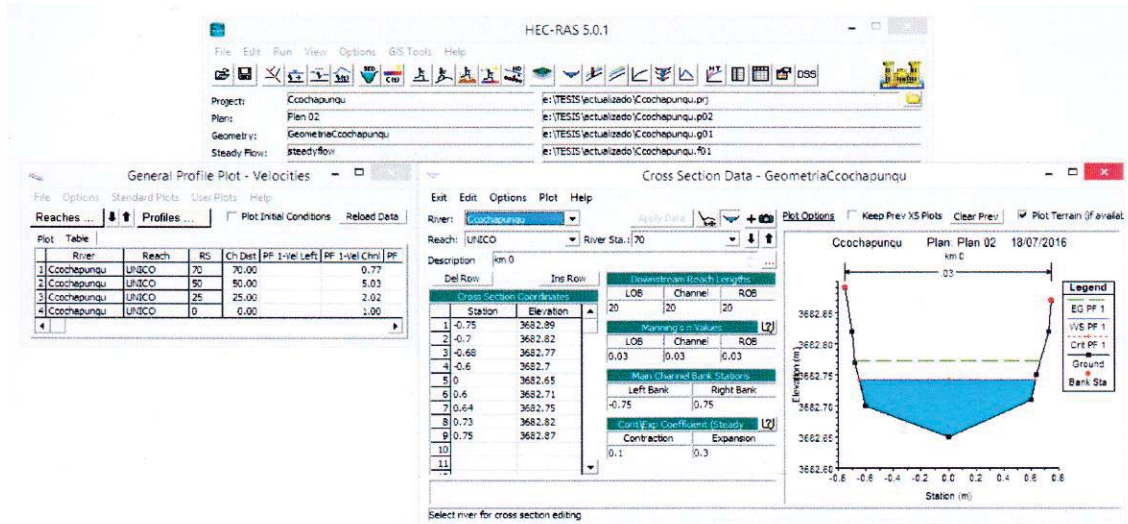
Para el estudio actual se halló un Q_{min} de 0.0104 m³/seg.



4.7.8. Caudal Máximo

Se usaron los resultados de HEC-RAS 5.0 para derivar el valor del caudal máximo (Qmax).

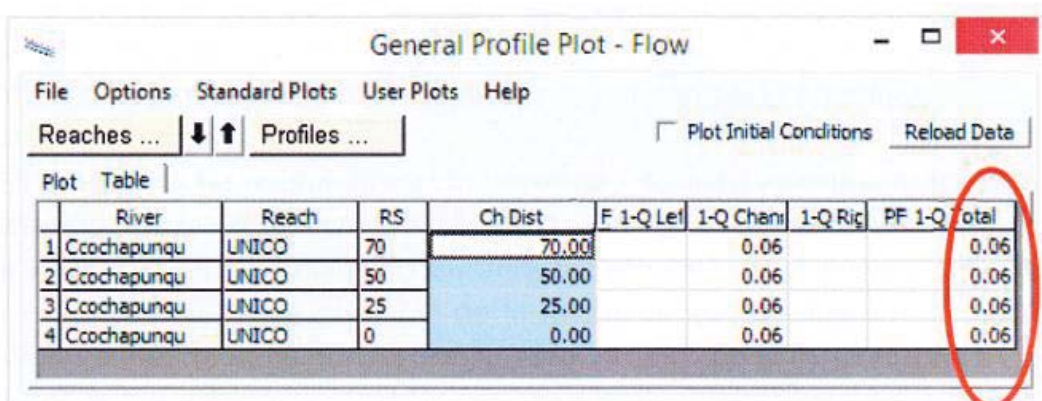
Figura N° 08: Cuadro HEC-RAS para calculo del valor de Qmáx.



Fuente: Elaboración Propia.

Se derivó el valor del Qmáx. A partir de los datos de velocidades en cada estación y las áreas halladas de las secciones cruzadas; para un tiempo de retorno de 50 años. Y se obtuvo un valor de 0.060 m³/seg.

Figura N° 08: Cuadro HEC-RAS y valor de Qmáx.



Fuente: Elaboración Propia.



CAPITULO V. HIDROGEOLOGÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y formación de aguas subterráneas. Las formas del yacimiento, la difusión de las aguas, el movimiento, régimen y reservas; son todas las manifestaciones de la interacción de las aguas subterráneas con los suelos y rocas, y del estado (particularidades físicas y químicas) en el que lo hacen. La hidrogeología también estudia las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov, 1985).

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

La cuenca hidrográfica tiene una dirección noroeste - sureste y se encuentra comprendida en la Formación Kayra y Soncco (INGEMMET), más precisamente al sector lateral del Grupo San Jerónimo en su desarrollo durante los movimientos regresivos del mar en el paleoceno – eoceno. El cauce principal de la microcuenca Ccochapunqo coincide con la dirección de los alineamientos noroeste – sureste, propios de la fase tectónica Quechua.

Las areniscas y lutitas del Grupo San Jerónimo se caracterizan por poseer propiedades singenéticas y postgenéticas favorables para el paso y



almacenamiento de las aguas subterráneas; por lo que se tiene una idea general sobre su comportamiento hidrogeológico en tanto diversas y varias zonas de dicha unidad presenten eventuales surgencias acuíferas así como bofedales, los cuales indican una presencia inminente de agua subterránea; es decir, un potencial de recarga y almacenamiento acuífero.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROGEOLÓGICO

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

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

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

5.2.1 Acuíferos:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidades significativas y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Los acuíferos son aquellas formaciones geológicas que son capaces de almacenar y transmitir el agua.

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



5.2.2 Acuitardos:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable, pero que el agua circula a través de ella con dificultad o lentamente.

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

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

5.2.3 Acuicludos:

Es la formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.

Los Acuicludos son aquellas formaciones geológicas que pueden almacenar agua en cantidades, pero no tienen la capacidad de transmitirla y se drenan con gran dificultad, el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada.

Ejm.: limos, arcillas.

5.2.4 Acuífugos:

Es la formación geológica que no contiene agua por qué no permite que circule a través de ella. Los acuífugos son aquellas formaciones geológicas incapaces de almacenar y de transmitir el agua, están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, ya a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se



muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir el flujo de las aguas. Unidades de impermeabilización total donde la circulación del agua subterránea es casi nula, en ciertos casos condicionan a otras unidades actuando como controles de los reservorios acuíferos. En general lo conforman estratos de formación micáceas, lutíticos, horizontes de fallas, anfibolitas e intrusivos.

Ejm.: granito o esquisto inalterado y no fracturado.

5.3 TIPOS DE ACUÍFEROS

Según el estudio de diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca del río Vilcanota (IMA 1998), las aguas subterráneas o acuíferos extendidos en la cuenca no son de gran magnitud, pero pueden presentar un potencial interesante, particularmente en Anta. La presencia de manantiales, aunque en forma dispersa, aporta al caudal de los ríos en época de estiaje, este recurso es el más utilizado principalmente en pequeños sistema de riego y en consumo humano de pobladores. Así mismo el estudio refiere que a lo largo de las microcuencas y subcuencas que alimentan al río Vilcanota se presentan acuíferos, que afloran en sustratos de calizas y areniscas pertenecientes a la Formación Ayabaca, Yuncaypata y en las capas rojas especialmente en los niveles de contacto entre la Formación Kayra y Soncco donde se encuentran el mayor potencial de aguas subterráneas. Los sectores circundantes a Anta presentan napas freáticas importantes del tipo acuífero no consolidado o libre, en suelos de origen lacustre, aluvial y coluvial-aluvial cuya explotación es restringida al uso pecuario y agrícola implementándose sistemas de drenaje.

5.3.1 Acuíferos Porosos Semi-Consolidados:

Grava, arena y limos semiconsolidados, la característica fundamental es la porosidad primaria intergranular, la alta porosidad de estos acuíferos hacen presumir que la transmisión del flujo subterránea del agua es violenta con fuertes avenidas espontaneas



después de una precipitación es por ello que el uso de estos acuíferos es poco o nada aprovechado.

5.3.2 Acuíferos porosos no consolidados:

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

5.3.3 Acuíferos fisurados:

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

5.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Los parámetros hidrogeológicos fueron calculados para las formaciones que afloran en mayor proporción en la microcuenca Ccochapunqo tales como el Grupo San Jerónimo: Kayra y Soncco, así como las formaciones San Sebastián, Maras y Anta por la cercanía e interacción que existen entre estas.



Los datos del parámetro de porosidad para las formaciones Kayra y Soncco fueron calculados en laboratorio geotécnico de suelos por el método de saturación de agua (contenido de humedad); para las demás formaciones se tomaron en cuenta los cálculos realizados por Alaín Ortiz de Orue T. y Michael contreras Aparicio (2011).

5.4.1 Porosidad

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

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

Para determinar la porosidad efectiva, los datos necesarios obtenidos del laboratorio, fueron los siguientes.

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

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

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

Dónde:

n = Porosidad (%)

P_h = Peso de la muestra húmeda

P_s = Peso de la muestra seca

V = Volumen total de la muestra



Tabla N° 26: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación San Sebastián

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Maras

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Soncco.

Muestra 4	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	286.29	283.77	104.8	2.40	2.45 %
2	262.97	260.53	97.7	2.50	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28: Cálculo de porosidad efectiva para la Formación Kayra.

Muestra 5	Ph (gr)	Ps (gr)	V	n (%)	Promedio
1	300.12	295.57	114.9	3.96	4.00 %
2	280.5	276.23	105.8	4.04	

Fuente: Elaboración propia



5.4.2 Permeabilidad

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

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

Tabla 30: Clasificación de Permeabilidad

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

Fuente: E. Custodio y R. Llamas

El coeficiente de permeabilidad se determinó mediante el uso de un tubo PVC de 2” de diámetro, que consiste en medir el descenso del agua en un determinado tiempo.

El procedimiento a realizarse, se detalla a continuación:

- Se excava un pozo de 30 cm., de profundidad.
- Se coloca el tubo de PVC, en posición vertical.



- Se rellena el espacio sobrante entre el tubo y las paredes del pozo, con una mezcla de cemento y yeso; y se espera que seque.
- Se llena el tubo con agua registrándose el tiempo que ésta desciende.

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

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

Dónde:

K = Permeabilidad (cm/s, cm/día).

Q = Agua gastada cada tiempo (cm³).

R = Radio del Tubo de PVC (cm).

H = altura del tubo (cm).

T = tiempo de descenso (seg).

5.4.3 Pruebas de Permeabilidad

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

Tabla N° 31: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación San Sebastián.

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



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

Tabla 32: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Maras

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

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

Tabla N°33: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Kayra



Tiempo (seg.)	Área (cm ²)	Descenso (cm)	H (cm)	Gasto (cm ³)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	3.90	50	79.0452	0.000125738	0.109
900	20.268	3.85	50	78.0318	0.000124126	0.107
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
900	20.268	3.82	50	77.4238	0.000123159	0.106
						0.107
Tiempo (seg.)	Área (cm ²)	Descenso (cm)	H (cm)	Gasto (cm ³)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	4.68	50	94.8542	0.000150886	0.130
900	20.268	4.60	50	93.2328	0.000148306	0.128
900	20.268	4.55	50	92.2194	0.000146694	0.127
900	20.268	4.50	50	91.2060	0.000145082	0.125
900	20.268	4.50	50	91.2060	0.000145082	0.125
						0.127

Tabla N° 34: Calculo de ensayos de Permeabilidad para la Formación Soncco.

Tiempo (seg.)	Área (cm ²)	Descenso (cm)	H (cm)	Gasto (cm ³)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	3.60	50	72.9648	0.000116065	0.1002
900	20.268	3.55	50	71.9514	0.000114453	0.0988
900	20.268	3.52	50	71.3437	0.000113487	0.0981
900	20.268	3.52	50	71.3437	0.000113487	0.0981
900	20.268	3.52	50	71.3437	0.000113487	0.0981
						0.0986



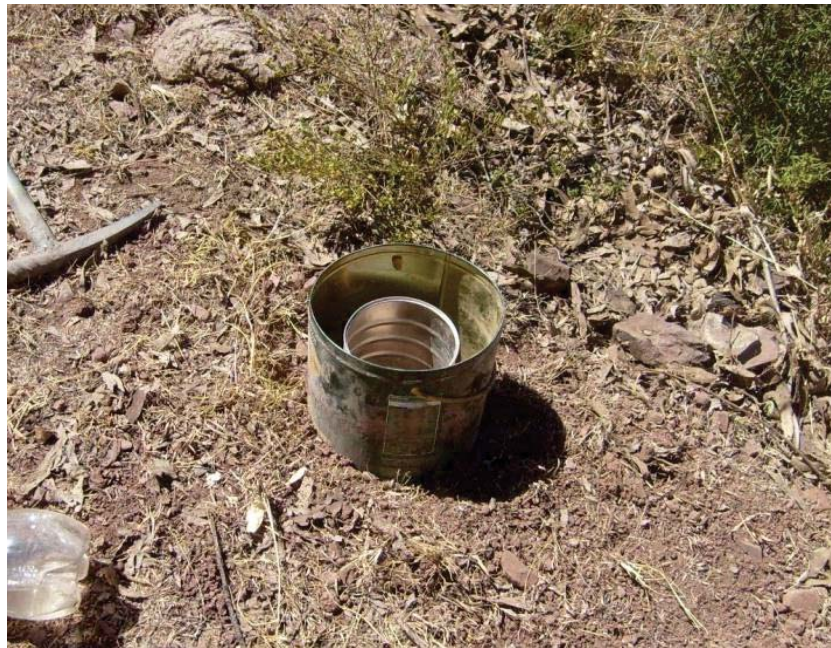
Tiempo (seg.)	Área (cm ²)	Descenso (cm)	H (cm)	Gasto (cm ³)	Permeabilidad (cm/seg)	Permeabilidad (m/día)
900	20.268	4.38	50	88.77384	0.000141213	0.122
900	20.268	4.30	50	87.1524	0.000138634	0.1197
900	20.268	4.25	50	86.139	0.000137022	0.1183
900	20.268	4.20	50	85.1256	0.000135410	0.1169
900	20.268	4.20	50	85.1256	0.000135410	0.1169
						0.1188

En resumen las permeabilidades de cada formación son:

Tabla N° 35: Resumen de los Cálculos de Permeabilidad.

Formación	Permeabilidades		Promedio Permeabilidad (m/día)	Calificación	Calificación del Acuífero	Tipo de materiales
San Sebastián	0.159	0.134	0.15	Algo permeable	Acuífero pobre	Arena limosa
Maras	0.014	0.019	0.02	Poco permeable	Acuitardo	Limo arenoso
Kayra	0.107	0.127	0.12	Algo permeable	Acuífero pobre a medio	Arena fina
Soncco	0.098 6	0.118 8		0.11	Algo permeable	Acuífero pobre a medio

Fuente: Elaboración Propia



Fotos N° 10: Pruebas de infiltración en Formación San Sebastián.



Fotos N° 11: Pruebas de infiltración en Formación San Sebastián.



Fotos N° 12: Pruebas de infiltración en Formación San Soncco.



Fotos N° 13: Pruebas de infiltración en Formación San Soncco.



5.5 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Durante esta fase del estudio se han identificado las fuentes de agua subterránea que se encuentran ubicadas dentro del área de investigación. Par tal efecto se usaron las Cartas Geológicas del INGEMMET (Cuadrángulo del Cusco 28-S-IV, Cuadrángulo de Cotabambas 28-R-I), imágenes satelitales (LANSAT), además de la prospección directa en el campo.

En los cuadros N° 5.12 y N° 5.13 se presentan la ubicación geográfica de las fuentes, así como el tipo de fuente y el caudal correspondiente a las temporadas seca y húmeda.

Dentro de la misma fase metodológica se recolectaron muestras de agua de las fuentes representativas de la napa freática con el propósito de estudiar su calidad físico-química, cuyos resultados se presentan en el capítulo presente. Se han inventariado en total cinco fuentes de agua subterránea; dos puntos corresponden a pozos de poca profundidad aperturados por iniciativa comunal en las últimas décadas como producto de la mayor demanda del recurso hídrico, los restantes tres puntos corresponden a surgencias de las cuales nacen los flujos que alimentan directamente al río Ccochapunqo (cabecera de cuenca), ya mencionadas en el capítulo anterior.

Tabla N° 36: Ubicación geográfica y caudal de las fuentes de agua subterránea. Época seca.

Código del Punto	Descripción	Caudales Medidos en Época Seca		
		Este	Norte	L/s
Afl – A	Afluente permamente	817109.09	8504090.46	6.3
Afl – B	Afluente permanete	816732.62	8503896.26	5
N - A1	Nascente	817471.72	8503529.67	3.7
N - B1	Nascente	816654.03	8503200.42	2.9
N – C	Nascente	816215.52	8503923.93	2.4
N – D	Nascente estacional	818271.29	8504535.00	0.3



N – E	Nascente estacional	818003.52	8504230.67	0.3
N – F	Nascente	817837.07	8504750.60	1.0
N – G	Nascente	817523.10	8504880.28	0.8
N – H	Nascente	817234.05	8504879.77	0.3
N – I	Nascente	817132.81	8505098.72	0.5
N – J	Nascente	816759.91	8505366.17	0.6
Afl – K	Afluente permanente	816715.67	8505780.92	1.7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 37: Ubicación geográfica y caudal de las fuentes de agua subterránea. Época húmeda.

Código del Punto	Descripción	Caudales Medidos en Época Húmeda		
		Este	Norte	L/s
Afl – A	Afluente permanente	817109.09	8504090.46	9
Afl – B	Afluente permanente	816732.62	8503896.26	8.2
N - A1	Nascente	817471.72	8503529.67	7.3
N - B1	Nascente	816654.03	8503200.42	5.2
N – C	Nascente	816215.52	8503923.93	3.4
N – D	Nascente estacional	818271.29	8504535.00	0.5
N – E	Nascente estacional	818003.52	8504230.67	0.6
N – F	Nascente	817837.07	8504750.60	1.9
N – G	Nascente	817523.10	8504880.28	1.7
N – H	Nascente	817234.05	8504879.77	0.5
N – I	Nascente	817132.81	8505098.72	1.3
N – J	Nascente	816759.91	8505366.17	1.4
Afl – K	Afluente permanente	816715.67	8505780.92	5

Fuente: Elaboración Propia

Los caudales de los puntos muestreados varían entre 2.4 L/seg. y 9.0 L/seg. Ninguno excede los 10 L/seg.



5.6 UNIDADES GEOHIDRICAS

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

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

La zona de estudio; por su complejidad, tectónica, estructural, litológica y geomorfológica, presenta una porosidad y asimismo una permeabilidad secundaria.

En esta zona se observa la presencia de manantiales, algunos de tipo permanente y probablemente ligados a acuíferos y acuitardos fisurados de afloramientos sedimentarios (Kayra - Soncco) que vendrían a denominarse roca almacén.

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico la clasificación de las rocas es la siguiente:

5.6.1 Acuíferos

Formación geológica que contiene agua en cantidades significativas y que permite que circule a través de ella con facilidad. Los principales acuíferos lo constituyen la Formación San Sebastián, la Formación Anta y los depósitos aluviales; y particularmente en la cuenca objeto de estudio el Grupo San Jerónimo.

Acuífero San Jerónimo

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



- **Acuífero Kayra**

La Formación Kayra viene a ser el acuífero principal en la microcuenca Ccochapunqo, por su composición litológica, su distribución granulométrica y el amplio afloramiento que presenta.

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

Este cuerpo rocoso subyace concordante y, en algunos casos, progresivamente discordante a la Formación Soncco, estas dos afloran en los mismos lugares. Esta es una formación de producción acuífera apreciable. Se constituye por areniscas feldespáticas y lutitas rojas en niveles muy delgados. De conjunto su espesor varía entre 2000 y 3000 metros y presenta una porosidad y permeabilidad secundaria que incrementa la capacidad de recarga y almacenamiento del agua subterránea. Se ha clasificado como un acuífero fisurado sedimentario.

Del presente estudio, se llegó a la conclusión de que la distribución de los estratos de areniscas finas a gruesas, con intercalaciones de niveles de lutitas rojas hacia el techo, tiene una porosidad efectiva de 4.00 %, así como la permeabilidad de 0.12 m/día.

- **Acuífero Soncco**

Esta Formación es muy productiva, de conjunto es el acuífero más importante de la provincia, consta de areniscas feldespáticas, arcósicas de buen desarrollo y homogéneas. Presenta una porosidad y permeabilidad secundaria muy favorable para la recarga y almacén de agua subterránea, las fuentes localizadas en estos estratos corroboran su condición de acuífero, los flujos son relativamente permanentes a lo largo de todo el año, con fluctuaciones mínimas. Este se clasifica como un



acuífero fisurado sedimentario. Posee un espesor que fluctúa entre los 1000 y 2000 m.

Este es considerado, junto con Kayra, el mejor de la zona porque presenta las superficies de afloramiento más grandes, posee grande espesor de los estratos (>5000 m) y sobretodo alta producción de aguas subterráneas. Predominan las areniscas con una alta porosidad primaria y secundaria debido a las fracturas y esquistosidad. En efecto se trata principalmente de areniscas con algo de lutitas y conglomerados muy fracturados que le dan una buena permeabilidad. Se denominan fisurados por que poseen una gran cantidad de fracturas que le dan una alta porosidad efectiva secundaria, lo cual facilita la infiltración de aguas de precipitación que alimentan el acuífero. La microcuenca Ccochapunqo queda favorablemente ubicada sobre este paquete rocoso y la explotación del agua subterránea se da por gravedad, de forma natural o por captaciones directas de manantiales y galerías filtrantes que pueden producir caudales cercanos a los 10 L/seg. y que se utilizan para consumo humano y conducción para irrigación. Las aguas de estos acuíferos son duras a moderadamente duras y de buena calidad; es decir aptas para el consumo humano (INGEMMET, 2011). Tiene una porosidad efectiva de 2.45 %, así como la permeabilidad de 0.11 m/día.

Acuífero San Sebastián

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

Permite el paso de las aguas de escorrentía superficial hacia los acuíferos inferiores cumpliendo así la labor de un acuífero, posee una porosidad efectiva de 49.87% y



permeabilidad promedio de 0.15 m/día, que es poco variable, por constituir terrenos semi-homogéneos (Cárdenas & Pumayalli; 2004).

5.6.2. Acuitardos

Formación geológica que contiene agua en cantidades apreciables y que sin embargo permite que circule a través de ella con cierta dificultad. Los principales acuitardos lo constituye, la Formación Maras y Las Series Rojas de Quilque y Chilca.

Acuitardo Maras

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

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

Acuitardo Quilque y Chilca

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



5.6.3. Acuicludos

Formación geológica que contiene agua en cantidades apreciables y que no permite que circule a través de ella. En la zona de estudio no se encontró ninguna unidad coherente con la descripción citada.

5.6.4. Acuífugos

Los acuífugos son aquellas formaciones que no permiten que el agua circule a través de ellas; es decir que son incapaces de almacenar y de transmitir el agua.

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

Acuífugo Puquin

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

5.7 ALMACENAMIENTO

El acuífero Kayra presenta intercalaciones de areniscas y lutitas fracturadas; con un espesor de 2000 a 3000 m, porosidades que fluctúan entre 6% y 16% y una permeabilidad deducida en campo de 35 m/día (Bernex, 2005).

El acuífero Soncco posee un espesor de 1000 a 2000 m de areniscas y conglomerados fluviales igualmente fracturados, sus porosidades varían



entre 8% y 12% mientras que la permeabilidad inferida en campo es de 14.5 m/día. Este último se encuentra sobreyaciendo al acuífero Soncco que le mejora sus condiciones hidrogeológicas y aumenta su productividad.

5.8 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS HIDROQUIMICAS

A partir de las muestras que se tomaron de los puntos donde se encontraron surgencias acuíferas se pudo realizar un análisis de concentración de cationes y aniones: este análisis hizo posible clasificar el agua de la siguiente manera:

- Acuífero Kayra: Aguas bicarbonatadas cálcicas, sulfatado-magnésicas que, con un contenido menor de 200 ppm de CaCO_3 se consideran “moderadamente duras”. Los análisis bacteriológicos indican que no existe contaminación fecal.
- Acuífero Soncco: Aguas sulfatado-cálcicas, bicarbonatadas sódicas que con un contenido mayor a 200 ppm de CaCO_3 se consideran “duras”. Los análisis bacteriológicos indican que no hay contaminación fecal.

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

Del resultado de la interpretación de los diagramas logarítmicos de potabilidad de agua y de acuerdo a las normas establecidas por la OMS (Organización Mundial de la Salud); estas son aguas aptas para el consumo humano así como para el riego.



DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA

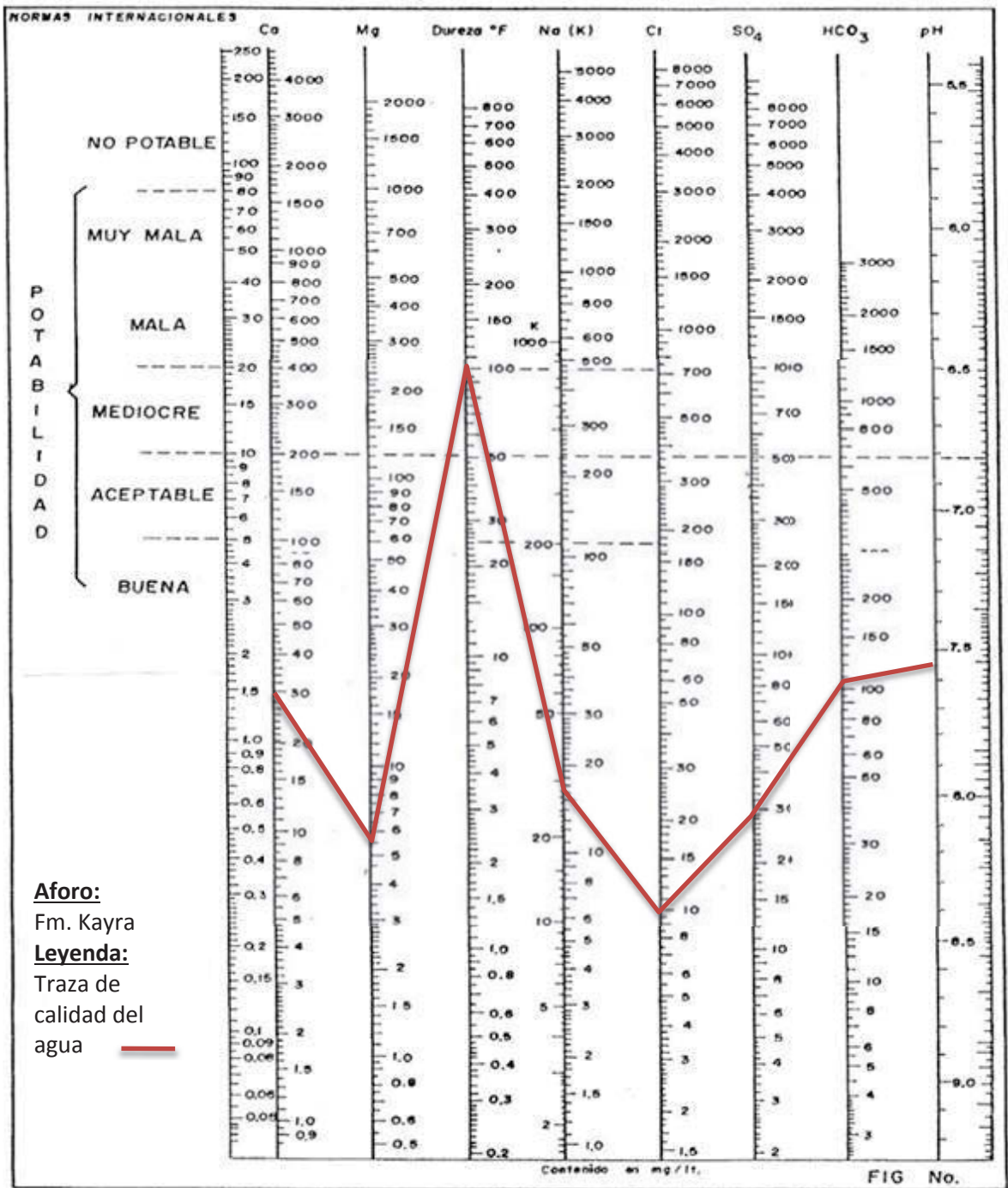
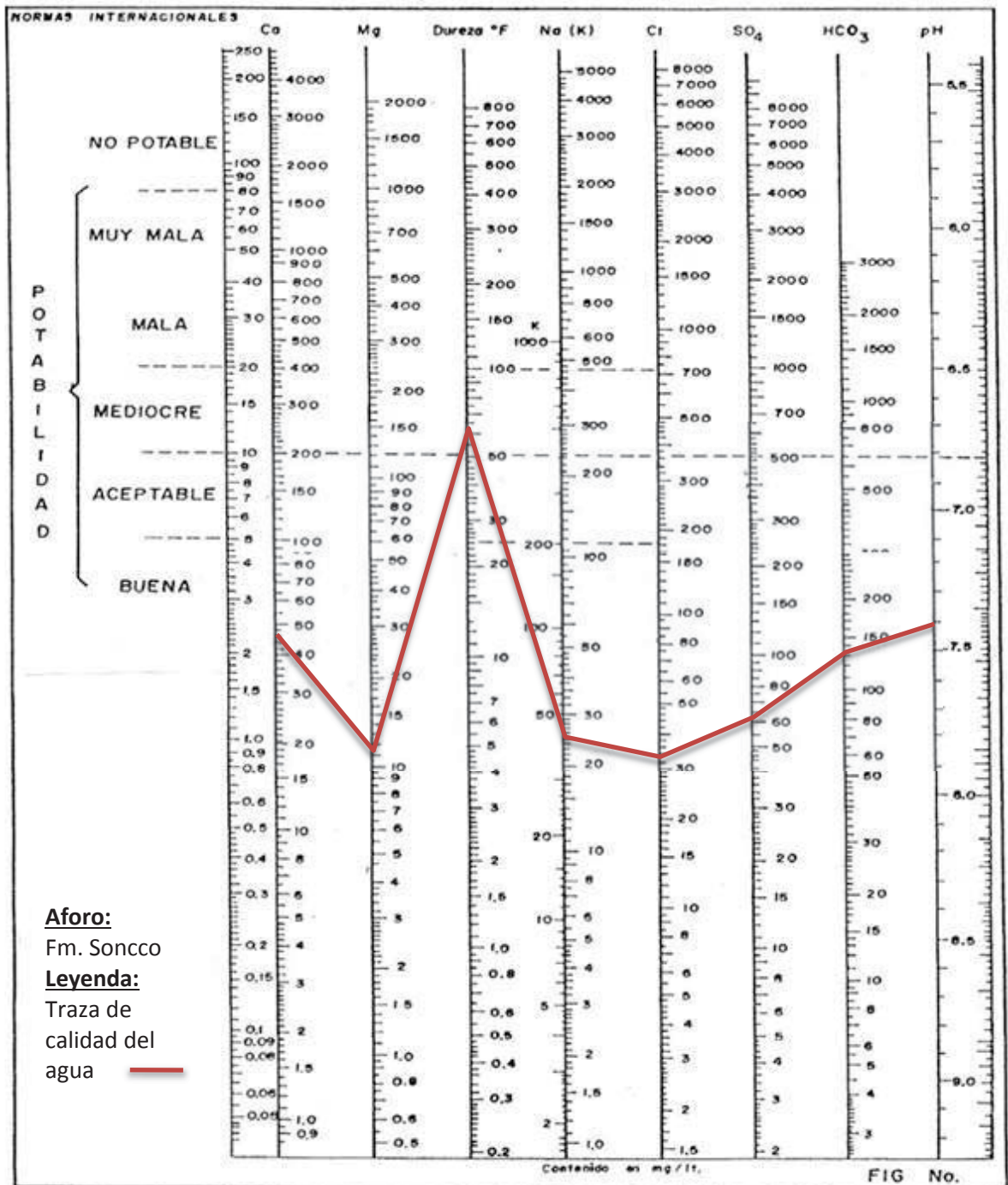




DIAGRAMA LOGARITMICO DE POTABILIDAD DE AGUA





5.9 BALANCE HÍDRICO

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

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

$$P = E + R + I$$

Dónde:

P: totalidad de la capa de agua caída sobre la zona.

E: evapotranspiración real.

R: escorrentía superficial.

I: infiltración.

$$P = 708.24 \text{ mm.}$$



CAPITULO VI. GEODINAMICA

6.1 GEODINAMICA EXTERNA

Los procesos geodinámicos están relacionados a las unidades geomorfológicas y se agrupan según su espacio y origen, en la comunidad de CcochaPunqu se han identificado fenómenos de geodinámica externa tales como deslizamientos traslacionales menores, derrumbes de escala decamétrica, caídas, procesos de erosión superficial de vertientes (laderas), cuya frecuencia ha ido incrementando sin embargo no ha tenido gran afectación sobre la población circunscrita en la microcuenca.

Para la identificación, cartografiado, evaluación y diagnóstico de la zona de estudio; se utilizaron Imágenes Satelitales y un mapa topográfico base. Se han determinado los movimientos en masa, su estado, estilo y distribución; finalmente han sido clasificados de acuerdo a su nivel de peligrosidad.

La cuenca vecina, de nombre Ccasacunca, presenta una falla inactiva; por su cercanía esta podría producir caídas violentas que pondrían en peligro a la comunidad Juan Velasco Alvarado, circunscrita en la microcuenca objeto de estudio.



6.1.1 Factores

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

- **Litología:** Factor que involucra los tipos de rocas y/o suelo, su grado de alteración y su talud.
- **Estructural:** Esta se relaciona con el tipo de estructuras geológicas (relación macizo rocoso-estructura) como plegamientos (anticlinales, sinclinales), fallas, fracturas, diaclasas, etc.
- **Sismico:** La ocurrencia de sismos es la causa fundamental de los procesos de geodinámica externa, tipo deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, etc. Estos fenómenos actúan como gatilladores.
- **Clima:** La precipitación es uno de los factores principales de la geodinámica externa, relacionado con inundaciones, deslizamientos y otros.
- **Morfología:** Las formas del terreno y las pendientes son factores también condicionantes de los fenómenos de geodinámica externa.

6.1.2 Procesos de erosión

6.1.2.1 Erosión de vertientes

Principalmente se presenta en la Formación Muñani, y el Gr. San Jerónimo que está constituido por sedimentos lacustrino-fluviales. Sobre estas superficies de erosión y acumulación de sedimentos los drenajes actuales han labrado sus cauces, siendo estos rectos y meándricos.



6.1.2.2 Erosión del cauce fluvial

Este fenómeno se presenta en mayor o menor grado en todo el trayecto de los cursos de drenaje en los pies de taludes y el río Ccochapunqo.

La causa directa son las crecientes que se presentan en temporada de lluvia y las variaciones de su dinámica fluvial. En la mayoría de los casos, la erosión afecta riveras naturales y riveras formadas por rellenos artificiales que sirven de plataformas de algunos terrenos de cultivo o para trochas, estos están constituidos por materiales muy poco coherentes por lo que son susceptibles a la erosión.

Se observa claramente un tipo de movimiento laminar del agua, que es lento y suave, generalmente se da en todo el trayecto de la microcuenca; este tiende a acumular depósitos de agregados de diverso tamaño más que erosionar el fondo del cauce.

6.1.3 Movimientos en masa

Donde ya se ha iniciado un movimiento en masa, es necesario hacer predicciones sobre futuros movimientos, retrogresión o ampliación del volumen de material involucrado, el cambio en su movimiento y su posible dinámica de recorrido. El resultado de este tipo de estudio puede tomar diferentes formas, tales como recomendaciones sobre el cambio del factor de seguridad, predicción de movimientos diferenciales o totales, predicción del mecanismo de movimiento, predicción del tipo y magnitud de la retrogresión, velocidad y longitud del recorrido. Existen dos tipos de fenómenos:



- **Fenómenos estáticos:**
 - Geomorfología: Pendiente Moderada
 - Litológicos: Tipo de roca y suelos
 - Estructurales: Fallas, estratificación, fracturas.

- **Fenómenos dinámicos:**
 - Climatológicos: Pisos altitudinales, precipitación fluvial, temperatura.
 - Hidrológicos o Hidrogeológicos: Influencia del agua en el comportamiento de roca y suelo.
 - Sísmicos: Según su magnitud.
 - Antropológicos: Actividad del hombre

6.1.3.1 Deslizamientos

Estos deslizamientos ocurren cuando la fuerza de la gravedad excede la resistencia del material, Esto es distinto a algunas formas de erosión como las causadas por la corriente de agua; cuando cae una precipitación sobre una pendiente o el canal de un río, formando arroyadas.

En el área de estudio la falla Ccasacunca y el buzamiento de los estratos dieron lugar a la caída de rocas.

6.1.3.2 Caída de rocas

La caída o desprendimiento de rocas desde las partes más altas de la microcuenca está asociada a terrenos de fuerte pendiente, morfología abrupta y meteorización física intensa. En el área de estudio la roca se encuentra altamente fracturada por la tectónica de la región; el movimiento se caracteriza por bloques de 0,3 - 0,9 metros de diámetro, se desprende de la ladera y el



material cae por rodamiento, la pendiente es elevada en esta zona; llegando a los 45° en la parte superior y 20° en la parte del pie de talud, el movimiento suele ser rápido y llega a exceder los 50 m/seg.

Este fenómeno se puede prevenir realizando una forestación y limpieza periódica de los bloques, además de colocar pantallas estáticas al pie del fenómeno.



Fotografía N° 14: desprendimiento de rocas de la formación Muñani

6.2 GEODINAMICA INTERNA

A nivel global, el 80% de los terremotos ocurren en el círculo del fuego del pacífico, del cual forma parte el territorio peruano. La interacción de placas es el mecanismo tectónico generalizado responsable de la alta sismicidad en nuestro país. La subducción de la Placa Nazca por debajo de la Placa Sudamericana posee una velocidad de 10 cm/año y un desplazamiento al Este de la Placa Sudamericana de 3 cm/año en promedio (Instituto Geofísico del Perú).

Los sismos que ocurren en la región del Cusco, son bastante localizados en su mayoría y se encuentran ligados a reactivaciones de fallas



activas. Desde el punto de vista tectónico la sismicidad regional se desarrolla en el dominio de la intraplaca continental sudamericana, constituyendo la denominada zona sismogénica superficial oriental del sur del Perú. Dicha zona se caracteriza por presentar sismos principalmente superficiales y destructivos; como los ocurridos en Cuzco en 1950 y 1986, así como en Urcos en 1965. De acuerdo a la distribución epicentral de los sismos más importantes, el sismo más próximo se encuentra prácticamente sobre la ciudad del Cusco, el cual corresponde al terremoto del 25 de mayo de 1950, con una magnitud de 6,0 grados en la escala de Richter. La mayor actividad sísmica se ubica al Sur y Suroeste del Cusco, con hipocentros mayormente de tipo superficial. En la distribución de la actividad sísmica con epicentros localizados a partir de la red del I.G.P. (1983-1986), se puede notar que la actividad sísmica se concentra hacia el Suroeste del Cusco, pero sin embargo actualmente ocurren algunos sismos en otras áreas. No es posible hacer demasiadas precisiones por no contar con la suficiente información. La región del Cusco, desde el punto de vista tectónico, se ubica en la parte inferior de una flexión de la Cordillera Oriental, a partir de lo que se inicia una zona de *Transición sismotectónica* que separaría regiones sismotectónicas al norte y sur con sus características geofísicas y geológicas algo diferentes y se halla ubicada entre los paralelos 13° y 14° de latitud sur. Esta zona de transición coincide parcialmente en lo que también se conoce como la deflexión de Abancay que es consecuencia de la dorsal de Nazca. La zona de transición parece estar definida por numerosos alineamientos este-oeste, según Cabrera (1988), de los primeros análisis epicentrales de sismos ocurridos.

La distribución epicentral de los sismos ocurridos en la región suroeste del Perú a partir de 1964 al 2003, se visualiza en la figura N° 09. Posteriormente se han separado los sismos según su profundidad como sigue: superficiales; con hipocentros $h < 60\text{Km}$, esta actividad sísmica se encuentra principalmente localizada entre el litoral y la fosa Perú-Chile, formando la porción más superficial de la subducción. Se diferencian los



sismos intermedios donde se puede apreciar que se le localizan más al Este (61>h>300Km). En la zona de estudio la actividad sísmica intermedia es menos frecuente y por lo general no causa peligro sísmico debido a la profundidad del evento.

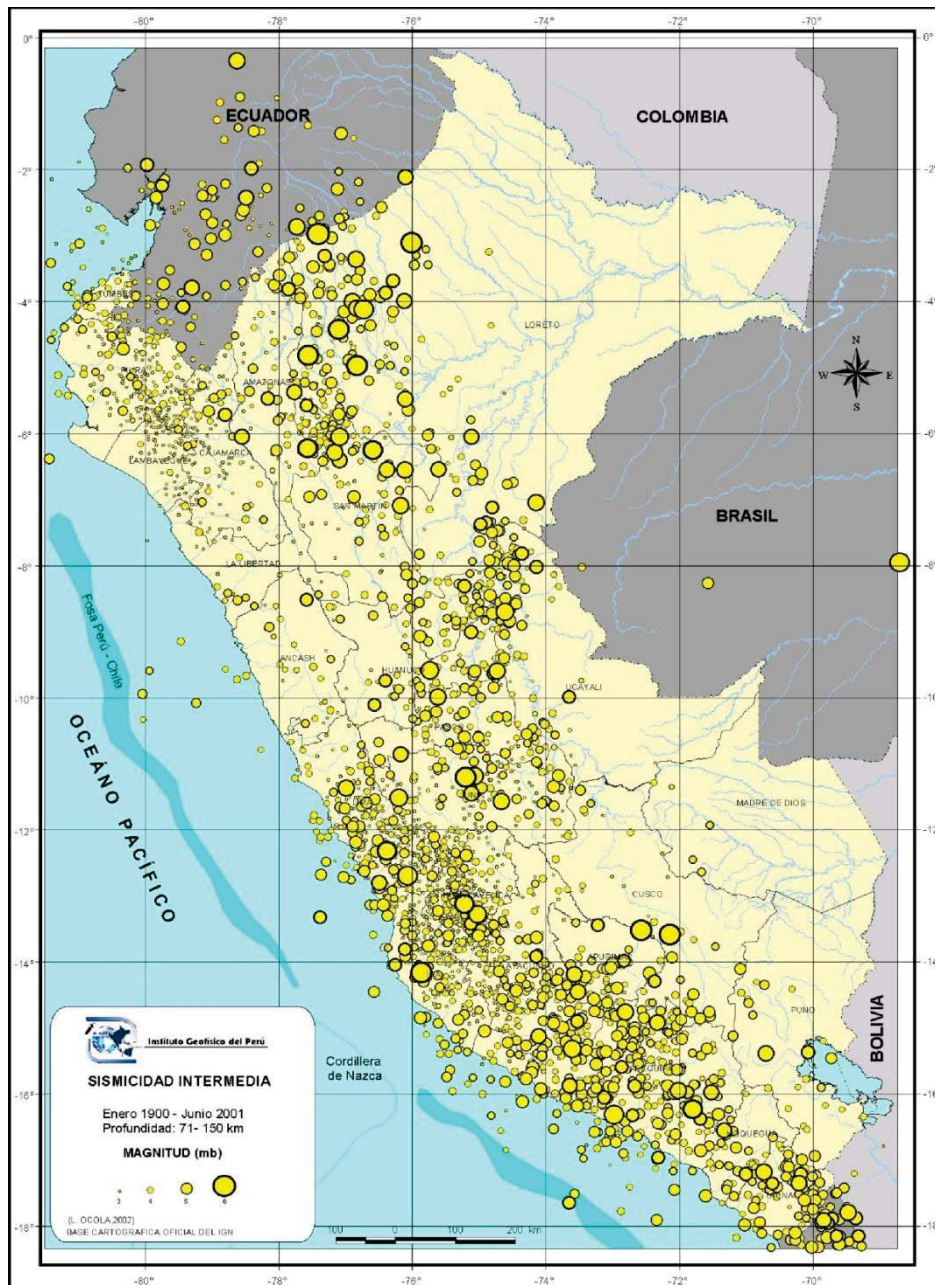


Figura N° 09: Sismicidad interna

Fuente: Istituto Geofísico del Peru



En la región del cusco, se observa que al oeste de la ciudad del Cusco existen hipocentros muy superficiales (0-33Km) y superficiales (33-60Km). Los sismos que se presentan al sur y al suroeste del Cusco son abundantes y de carácter intermedio (61-300Km), se relaciona con una estructuración de bloques (Ascue 1997). En general los sismos de esta área, por su origen, son de carácter tectónico; se definen dos categorías:

- **Sismos intraplaca con profundidades mayores a 60Km** relacionados con la interacción de las placas de Nazca y Sudamérica.
- **Sismos intraplaca con profundidades menores a 60Km,** relacionados a una estructuración intraplacas en bloques, ligadas a fallas superficiales.

Los sismos del Cusco están más ligados a los sismos intraplaca, relacionados con movimientos superficiales de fallas activas de movimientos diversos en una compleja estructuración, observándose claros juegos de movimientos de rumbo relacionados con la dinámica de deformación de la deflexión de Abancay. Los últimos sismos más importantes en el Cusco, se relacionan con las fallas activas ubicadas al norte de la ciudad, conocidas como fallas activas del sistema Tambomachay-Qoricocha de acuerdo a Cabrera (1988) y Sebrier (1986), este conjunto de fallas pertenecería a la zona de transición dentro la Cordillera Oriental y las altiplanicies mesozoicas, reconocida por su actividad reciente, debido a muchas evidencias tectónicas y volcánicas.

Según el mapa de Zonificación Sísmica propuesto en la nueva Norma de Diseño Sismo Resistente E-030, del Reglamento Nacional de Construcciones (1997), el área de estudio se encuentra comprendida en la Zona 2, a la cual se le asigna una sismicidad moderada.



Figura N° 10: Sismicidad interna

Fuente: Instituto Geofísico del Peru

Los datos de sismos históricos ocurridos en áreas cercanas a la zona de estudio alcanzan una intensidad VII – VIII en la Escala de Mercalli Modificada, por otro lado según el Mapa de Fuentes Sismogénicas Superficiales (0Km a 70Km), propuesto por Castillo y Alva (1993) la misma magnitud que puede ocurrir en el área del estudio asociada a estas fuentes

es de 7,5; que es la misma magnitud para sismos profundos (hasta 700km). Ver Figura N° 10.

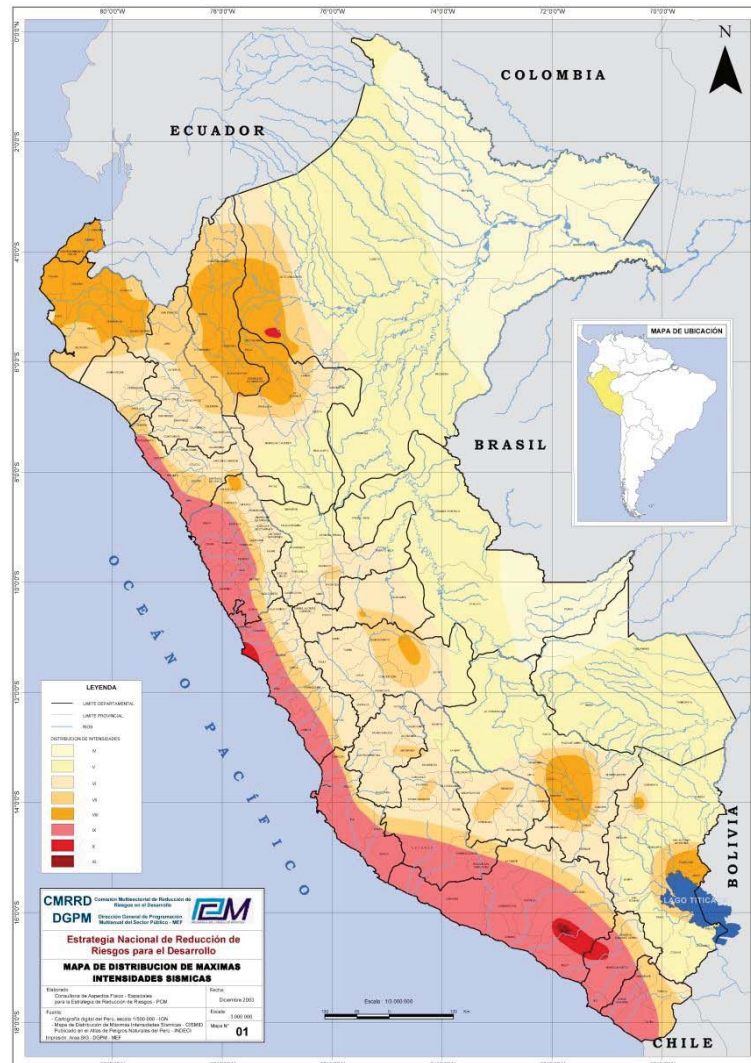


Figura N° 10: Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas.

Fuente: CMRRD

Asimismo dichos autores han presentado un mapa de Isoaceleraciones determinadas a partir de criterios probabilísticos, considerando un porcentaje

de excedencia de 10% para estructuras con vida útil de 50 años, que corresponde a un tiempo de retorno del sismo máximo probable de 475 años, donde se asigna una máxima de 0,36g para estas consideraciones, y 0,4g para estructuras con vida útil de 100 años. Ver Figura N°11.

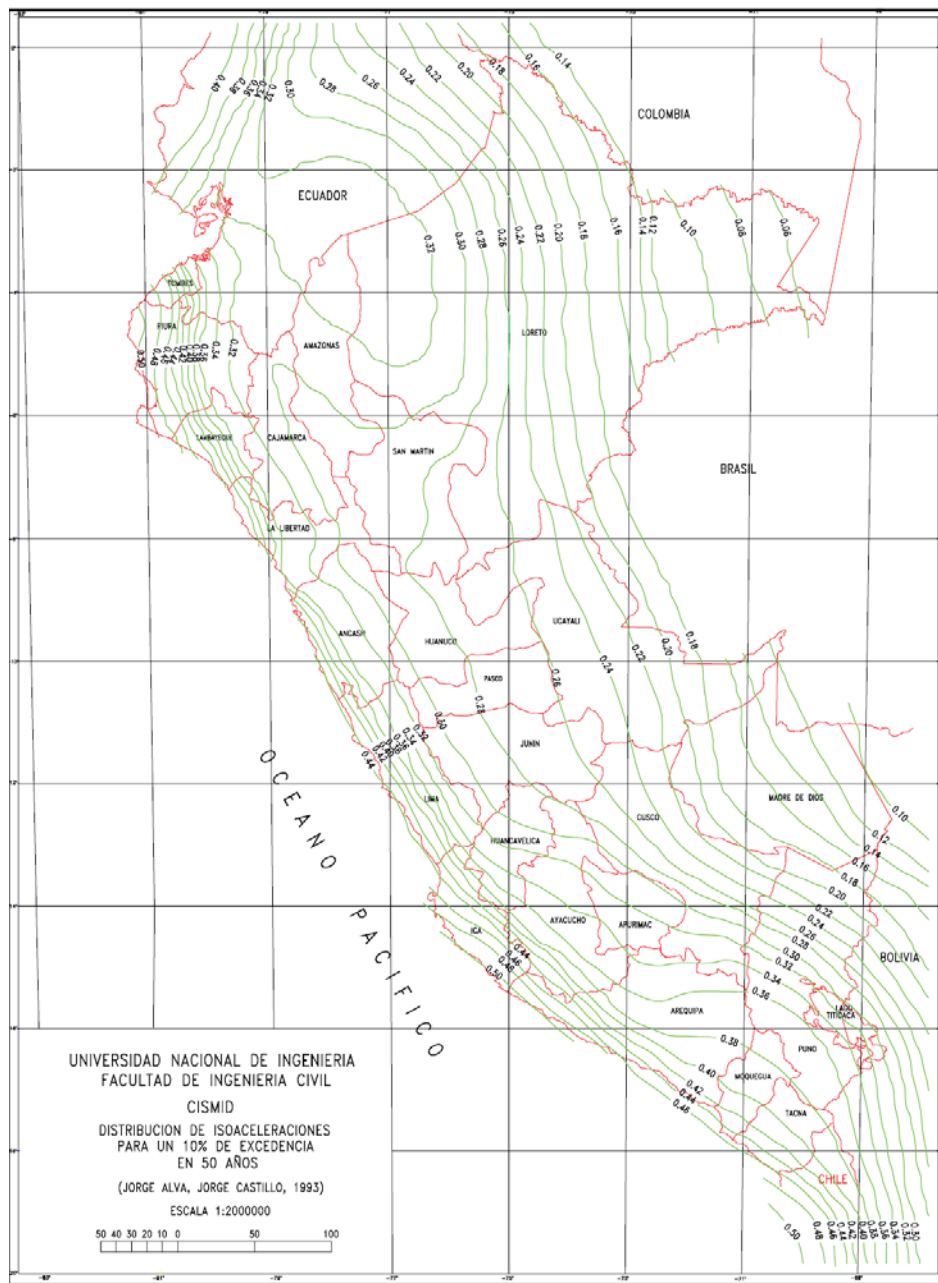


Figura N° 11: Mapa de distribución de isoaceleraciones.

Fuente: UNI.



Deza (1986) menciona que el sistema Tambomachay es la fuente principal de la ocurrencia de los últimos sismos locales (por ejemplo el del 05-04-1986) y que el sistema de fallas Qoricocha es subsidiario del de Tambomachay y se activa constantemente como consecuencia del proceso dinámico del fallamiento Tambomachay.

Para la zona en estudio se puede observar una aceleración sísmica de 0.26g correspondiente a un periodo de exposición de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10% como se muestra en el mapa de isoaceleraciones. (Ver mapa de isoaceleraciones del Perú)

El riesgo sísmico está basada en datos sísmicos instrumentales, datos sísmicos históricos, registros de movimientos fuertes, datos geotécnicos y geofísicos, los que usando el modelo probabilístico de Poisson han sido procesados para obtener la aceleración, velocidad y desplazamiento máximos esperados para periodos de retorno de 30, 50 y 100 años. Esta información se encuentra en mapas con curvas que abarcan los departamentos de Cusco y Puno. Los parámetros correspondientes a la ubicación del proyecto son:

Tabla N° 38: Parámetros para periodos de retornos.

Periodo de retorno (años)	Aceleración			Velocidad			Desplazamiento		
	30	50	100	30	50	100	30	50	100
Parámetros	0.137	0.165	0.210	5.8	7.00	9.50	2.05	2.40	3.30

De acuerdo a la Norma Sismo resistente, E – 030 del Reglamento Nacional de Construcciones la zona de estudio tiene los siguientes parámetros para una zonificación sísmica según RNC: (ver mapa de zonificación sísmica del Perú.)



Tabla N° 39: Parámetros de la zona de estudio.

Zona:	2	Mapa de zonificación sísmica
Coefficiente sísmico	0.12	Mapa de zonificación del coeficiente sísmico
Factor de zona (Z)	0.3	Tabla 1
Parámetro del suelo	Ts= 0.9 s	Período predominante.
Perfil tipo de suelo	S ₂	

$$H = \frac{Z \times U \times S \times C \times P}{R}$$

Dónde:

- Z = Factor de zona. (Tabla 1, Norma E 030)
- U = Factor de uso. (Tabla 3, Norma E 030)
- S = Factor de Suelo. (Tabla 2, Norma E 030)
- C = Coeficiente sísmico. (Artículo 7 y 17, Norma E 030)
- P = Peso de las estructuras.
- R = Coeficiente de Reducción (Tabla 6, Norma E 030)

6.3 ZONIFICACIÓN DEL PELIGRO GEOLÓGICO

Los procesos geodinámicos 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 forma directa o indirecta, a las actividades humanas.

Fenómenos tan variados como la erosión, disolución, movimientos sísmicos y erupciones volcánicas y las precipitaciones pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, coladas de tierra y derrumbes, subsidencias, 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 desencadenados por la acción antrópica al modificar sus condiciones.



Los movimientos del terreno, desde un deslizamiento de cierta magnitud, los aludes, hasta un terreno de gran intensidad, causan en ocasiones cifras muy elevadas de víctimas y pérdidas económicas.

Los problemas derivados de la doble interacción entre el medio geológico y las actividades humanas hacen necesario el planteamiento de acciones adecuadas para conseguir un equilibrio entre las condiciones naturales y la ocupación del territorio, incorporando los métodos de prevención y mitigación de los riesgos geológicos a la planificación. Estas actuaciones deben partir de la comprensión de los procesos geodinámicos y la identificación de los peligros geológicos.

Los daños asociados a un determinado proceso geológico dependen de la velocidad, magnitud y extensión del mismo. Los movimientos del terreno pueden ocurrir de forma violenta y catastrófica (por ejemplo terremotos, grandes deslizamientos repentinos, hundimientos) o lenta (por ejemplo flujos y otros movimientos de laderas, subsidencias, etc.). Así también de la probabilidad de prevención, predicción y el tiempo de aviso. Algunos procesos, como terremotos o avenidas repentinas (huaycos) no pueden ser previstos, disponiéndose de muy poco o ningún tiempo de alertas. De hecho, la posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo de proteger los elementos expuestos a sus efectos, contribuirá determinadamente en minimizar los daños.

6.3.1 Definición de Terminología

- **Peligros geológicos:** Representado por la susceptibilidad, que es la probabilidad de la ocurrencia de un fenómeno exógeno o endógeno potencialmente dañino en una determinada área. Conforme se hizo referencia, uno de los peligros geológicos vinculados a la geodinámica externa es la probabilidad de erosión de riveras, desbordes e inundaciones generados por los cursos de agua que discurren sobre la llanura que se extiende en el fondo de los valles. Sin embargo, la



consecuencia asociada a este proceso geodinámico se estima de poca consideración, dado que comprometería terrenos de áreas mínimas.

- **Vulnerabilidad:** Es el nivel de poblaciones, propiedades, actividades económicas, incluyendo los servicios públicos, etc, en riesgo en determinada área como resultado de la ocurrencia de un fenómenos natural o antrópico.

Tabla N° 40: grados de vulnerabilidad

PORCENTAJE (0-100%)	GRADO DE VULNERABILIDAD
0-30	Vulnerabilidad Baja
30-80	Vulnerabilidad Moderada
80-100	Vulnerabilidad Alta

Fuente: indeci

- **Riesgo (específico):** El monto de las pérdidas esperadas por causa de un fenómeno particular de deslizamiento.



CAPITULO VII. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

7.1. LINEA DE BASE AMBIENTAL

Se analizan las variables naturales, económicas, sociales y culturales existentes en la zona de estudio, en orden de establecer las condiciones ambientales iniciales y determinar aquellos impactos ambientales generados por la actividad antrópica. Nuestro marco de trabajo es la microcuenca de Ccochapunqo.

En el trabajo de campo se ha realizado la evaluación de las principales fuentes de agua, suelo, fauna, cubierta vegetal, aspectos culturales y finalmente medioambientales.

El sondeo de opinión a la población en la misma microcuenca es un recurso trascendental para observar el tratamiento antrópico del entorno circundante. En el se han analizado aspectos referidos a:

- Clima y zonas de vida.
- Hidrología.
- Suelos, geología, vegetación, fauna, habitad, aspectos socioeconómicos.

7.2. ENTORNO FÍSICO

7.2.1. RECURSO HÍDRICO

La microcuenca de Ccochapunqo se ubica en la margen izquierda de la Depresión de Anta, se caracteriza por ser una microcuenca con pendientes moderadas y de drenaje subparalelo;



con un importante aporte al río Cachimayo. Pudiendo secarse el 80% del aporte de cabecera su cauce principal, tanto desde la parte media como la inferior, se alimenta vía acuífera mediante la presencia del Grupo San Jerónimo durante el periodo seco. Cabe resaltar que todas las quebradas de ambas márgenes de la microcuenca son estacionalmente secas, y por ende son de escasa oferta hídrica.

Existen manantiales permanentes controlados estructuralmente a lo largo del curso del río Ccochapunqo, que alimentan su caudal durante todo el año. Estos manantiales proveen de agua tanto para uso doméstico como para riego. El origen de estos manantiales es producto de la infiltración que ocurre en las partes altas de los cerros. Existe una interacción entre los cuerpos de agua como los bofedales ubicados hacia las alturas (cabecera de cuenca) los cuales indican sobre todo un cambio relativo en la transmisividad de los cuerpos rocosos (Kayra y Soncco), la zona subsuperficial pendiente abajo que se ve directamente beneficiada por los ya mencionados bofedales; y las surgencias acuíferas a lo largo de la cuenca. Todos estos elementos vienen siendo alimentados por las fracturas y pliegues producto de la neotectónica cuaternaria sobre el Grupo San Jerónimo.

7.2.2. RECURSO SUELO

Los criterios para definir el recurso suelo son la aptitud y calidad agrícola; o su capacidad de uso mayor, de acuerdo a esto se puede establecer los suelos en la microcuenca de estudio como: Aptos para cultivo en limpio de calidad agrícola media con límites por suelo, Aptos para pastos de calidad agrícola baja con límites por suelo, erosión y pendiente, Aptos para producción forestal de calidad agrícola media con límites por suelo, erosión y pendiente, y de protección.



El usar las tierras sin tomar en cuenta su vocación conduce a serios problemas como derrumbes, desprendimientos, erosión severa, destrucción de infraestructura y pérdida de tierras agrícolas. En nuestro país existe un gran desorden a este respecto. La degradación de los escasos suelos óptimos es alarmante.

Tabla N° 40: capacidad de uso mayor de los suelos.

Descripción	Símbolo	Limitación
Suelos aptas para cultivo en limpio	A	Suelo
Suelos aptas para pastos	P	Suelo - erosión - pendiente
Suelos para producción forestal	F	Suelo - erosión - pendiente
Suelos de protección	X	

Fuente: Fortalecimiento del Desarrollo de Capacidades de Ordenamiento Territorial en la Región Cusco-Diagnostico Provincia Anta

Tabla N° 41: superficie agrícola y no agrícola por Distritos- Provincia de Anta.

DISTRITO	SUPERFICIE TOTAL		SUPERFICIE AGRICOLA		SUPERFICIE NO AGRÍCOLA PASTOS			MONTES Y BOSQUES		OTRA CLASE DE TIERRA	
	Ha	%	Ha. Total	%	Manejado Ha	No manejado Ha	%	Ha	%	Ha	%
ANCAHUASI	9,825.40	8.24	2,464.25	2.07	37.00	4,591.53	3.88	1,788.37	1.50	944.25	0.79
ANTA	15,033.14	12.61	3,896.73	3.27	83.43	8,570.28	7.26	935.20	0.78	1,547.50	1.30
CACHIMAYO	2,047.23	1.72	673.32	0.56	4.90	1,037.03	0.87	226.22	0.19	105.76	0.09
CHINCHAYPUJIO	22,686.01	19.02	4,463.36	3.74	23.19	15,793.70	13.26	705.19	0.59	1,700.57	1.43
HUAROCONDO	10,398.01	8.72	2,743.44	2.30	23.50	7,319.15	6.16	104.04	0.09	207.88	0.17
LIMATAMBO	26,296.71	22.05	3,990.79	3.35	45.06	20,771.60	17.46	825.34	0.69	663.92	0.56
MOLLEPATA	25,759.11	21.60	2,948.76	2.47	72.01	11,806.00	9.96	5,576.46	4.68	5,355.88	4.49
PUCYURA	3,108.66	2.61	947.00	0.79	21.08	1,822.67	1.55	24.14	0.02	293.77	0.25
ZURITE	4,092.62	3.43	1,206.50	1.01	30.66	1,867.71	1.59	350.75	0.29	637.00	0.53
TOTAL	119,246.89	100.00	23,334.15	19.57	340.83	73,579.67	61.99	10,535.71	8.84	11,456.53	9.61

Fuente: Fortalecimiento del Desarrollo de Capacidades de Ordenamiento Territorial en la Región Cusco-Diagnostico Provincia Anta



En los suelos aptos para cultivo en limpio, se observa el área cultivada en la siguiente distribución:

Tabla N° 42: Área cultivada en el distrito de Pucyura.

Cultivos	Área Cultivada (Ha)	%
Bajo Riego	24	12.7
Secano	40	21.16
Laymes	125	66.14
Total	189	100.00

Fuente: Fortalecimiento del desarrollo de capacidad de ordenamiento territorial en la Región de Cusco- diagnostico Provincia de Anta.

Las tierras de cultivo con mayor predominancia en la Provincia de Anta son las áreas que se encuentran en secano, con una superficie agrícola de 15,927.97 Has, que está representada por el 68.26% de la superficie agrícola, cultivándose principalmente papa, kiwicha, trigo, maíz, cebada, habas y el 31.74% de la superficie agrícola bajo riego, que ocupa una superficie agrícola de 7,406.21 Has, cultivándose papa, maíz, cebada forrajera, habas, trigo. La producción es destinada para el autoconsumo familiar y la comercialización en los mercados locales.

7.3. Entorno Socio-Económico

7.3.1. Población

El área de la microcuenca, está conformada por la comunidad de Juan Velasco Alvarado que no excede los 600 habitantes.

Para efectos de análisis cuantitativo la población del área de impacto directo ha sido determinado por la población de 3e habitantes del Distrito de Pucyura.



Las características poblacionales las podemos apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla N° 43: Población del Distrito de Pucyura.

	TOTAL	GRANDES GRUPOS DE EDAD					
		Menos de 1 año	1 a 14 años	15 a 29 años	30 a 44 años	45 a 64 años	65 a mas años
Rural	4258	149	1296	896	832	756	329
Mujeres	2276	86	678	455	439	425	193
Varones	1982	63	618	441	393	331	136

Fuente: Censo de poblaciones rurales INEI.

7.3.2. Economía

En el espacio económico de la zona de estudio, la actividad agrícola viene a constituir la principal actividad económica, en la que se sustenta el ingreso familiar, discriminando las actividades, existe una relación entre la actividad agrícola y pecuaria, ambas se complementan, teniendo prioridad la agricultura.

En la parte baja de la microcuenca, y a lo largo de todo el curso de río en la llanura de inundación, se encuentran las mejores tierras, siendo la actividad agrícola la que predomina. En la parte media de la microcuenca se combina las actividades agrícolas y ganaderas. Y en la parte alta de la microcuenca predomina la actividad ganadera/pecuaria.

Los rendimientos y productividad agropecuaria están mejorando substantivamente, sin embargo todavía están por debajo de los promedios departamentales y nacionales. La mayor cantidad de tierras esta conducida por familias campesinas y el restante por pequeños agricultores, por lo tanto la producción tiene por destino principal el autoconsumo.



Tabla N° 44. ESTUDIO DE LÍNEA DE BASE SCOPING

Factores Ambientales	Parámetros
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Carreteras - Geología - Erosión - Geoforma
Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Recarga - Descarga - Drenaje - Aguas superficiales - Aguas subterráneas
Flora y Fauna	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie - Pastos - Cultivos - Aves - Plantas
Medios de Percepción	<ul style="list-style-type: none"> - Animales terrestres - Especies únicas y raras - Paisaje natural - Paisaje cultural - Diseño de paisaje
Medio socioeconómico cultural	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del suelo - Calidad de vida - Estructura socioeconómica - Agricultura

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO VIII. DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO AMBIENTAL

8.1. FACTORES AMBIENTALES POTENCIALMENTE IMPACTADOS.

Los factores ambientales son el conjunto de componentes del ambiente abiótico y biótico (aire, suelo, agua, flora, fauna, etc.), y del ambiente social (relaciones sociales, actividades económicas, sociales, culturales, etc.), susceptibles de sufrir cambios (positivos o negativos), debido a la ejecución de una acción antrópica o un conjunto de ellas.

8.1.1. RECURSO HÍDRICO

Según lo observado en el campo, en el área de la microcuenca de Ccochapunqo se encontró una gran cantidad de manantiales y la presencia de acuíferos, por tal motivo se estima que las actividades antrópicas originan impactos significativos sobre el recurso hídrico. Una preocupación es que se debe tomar medidas específicas de prevención para minimizar los potenciales efectos sobre los recursos hídricos.

En la actualidad en la microcuenca de Ccochapunqo hay una mala explotación del recurso hídrico, tanto para consumo humano como para riego; por ejemplo las captaciones de agua en los manantiales destinados para consumo humano son deficientes, por lo se explota este recurso en un bajo porcentaje. Lo mismo sucede en



los sistemas de regulación captación y conducción de agua para riego. Debido a esto se impacta el recurso hídrico, haciendo una explotación inadecuada de esta.

8.1.2. RECURSO SUELO

El uso de suelos para cultivo ha aumentado, mientras que la cantidad de suelos con pastos naturales ha disminuido. La cantidad de suelos forestados ha aumentado, principalmente debido a la introducción del eucalipto. La cantidad de suelos eriazos aumentó y luego disminuyó excepto en la parte alta de la microcuenca donde sigue erosionándose.

Hay una presión creciente sobre las tierras de cultivo que compiten con tierras de pastos, resultando un bajo rendimiento de cultivos.

8.1.3. FLORA Y FAUNA

La importancia de la flora y fauna está relacionada con la preservación de la biodiversidad de los ecosistemas, además la protección de estos recursos es necesaria. El impacto negativo sobre la flora y fauna se debe a la explotación de aguas de los manantiales que se encuentran en la microcuenca, y la implementación de la infraestructura de riego, causando así la migración de especies.

En la parte alta de la microcuenca puede observarse una disminución de la cobertura vegetal causado por la quema de pastizales, incidiendo negativamente en la oferta de pastos para la actividad ganadera, y favoreciendo un rápido escurrimiento y por lo tanto la pérdida de aguas de lluvia. En la parte media y baja de la microcuenca también se observa la desaparición de cobertura vegetal arbórea causado por la extracción de especies nativas para leña y



también por la quema de pastizales acelerando así el proceso de erosión de los suelos de aptitud agrícola.

8.2. IDENTIFICACIÓN, VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALE

Se efectúa la identificación y valoración de los impactos ambientales de la microcuenca a través de un análisis de causa/efecto determinando su magnitud, con una valoración de primer nivel. Los análisis anteriores provenientes de la línea de base ambiental permiten seleccionar los indicadores de impacto ambiental más representativos (cuantitativos y cualitativos). Posteriormente se efectúa la evaluación y valoración cualitativa mediante una matriz de importancia (por el método de Leopold), y finalmente cuantitativa de los impactos empleando la metodología Batelle.

8.2.1. DESCRIPTORES GENERALES DE IMPACTO

En términos generales los impactos pueden clasificarse en: Impactos Mayores (o significativos), Impactos Moderados e Impactos Menores (o insignificantes). Sin embargo un análisis acucioso debe incluir otros criterios fundamentales. Los criterios empleados para este estudio provienen de una adecuación de la propuesta de Conesa 1995, los que se citan a continuación:

A) Naturaleza del Impacto

Los impactos de acuerdo a sus consecuencias sobre la calidad ambiental se diferencian en: Impacto Negativo que es aquel cuyo efecto se traduce en pérdida de calidad ambiental, e Impacto Positivo que es aquel admitido como tal en el contexto de un análisis completo. Para la evaluación cualitativa cada valor, según corresponda ira seguido de un signo: + (positivo) o – (negativo).



B) Intensidad del Impacto

Esta variable se refiere al grado de incidencia o alteración que produce el impacto. Se clasifica en términos de alteración Severa o Alta (alteración total del recurso), Media (alteración moderada del recurso), y Baja (afección mínima).

C) Periodicidad del Impacto

Se refiere a la regularidad, secuencia o ciclo de manifestación del efecto. El impacto continuo refleja alteraciones ambientales en forma ininterrumpida. El impacto discontinuo refleja una acción intermitente (periódica o regular).

D) Relación Causa - Efecto del Impacto

Está referida a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Los impactos se clasifican en: Directo cuando el impacto es de efecto inmediato y es Indirecto cuando la incidencia supone la interdependencia o relación de un factor ambiental con otro.

E) Momento de Manifestación del Impacto

Está referido al plazo de manifestación de los impactos y el inicio de sus efectos sobre los factores ambientales.

Según el momento en que se presentan se pueden clasificar en: Inmediato cuando se produce al inicio de una acción, y Latente cuando el impacto puede producirse después de iniciada la acción (a mediano y largo plazo).



F) Extensión del Impacto

Alude al área de acción o influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.

Si la acción produce un efecto muy focalizado el impacto es de carácter Puntual (localizado), por el contrario si el proyecto tiene un ámbito de influencia generalizada el impacto es Total (en toda el área), y Parcial cuando afecta parte del área.

G) Persistencia del Impacto

Se refiere al tiempo probable de permanencia del efecto desde su aparición o su continuidad en el tiempo, el impacto es Temporal si el efecto tiene un tiempo determinado de ocurrencia y Permanente cuando el efecto es indefinido en el tiempo.

H) Recuperabilidad (capacidad de recuperación del recurso)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor o los factores ambientales afectados como consecuencia de la actividad, es decir que pueda retornar a las condiciones iniciales. La clasificación de Recuperable e Irrecuperable se aplica a procesos antrópicos, como las acciones de mitigación.

I) Reversibilidad

Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, una vez que las acciones o actividades del proyecto dejen de actuar sobre el medio. En este sentido puede ser Reversible a corto plazo, reversible a mediano plazo o Irreversible.



J) Sinergia

Cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que la suma de las incidencias individuales considerada aisladamente.

K) Acumulación

Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada la acción que lo genera. Cuando no se producen efectos acumulativos la acumulación es simple.

8.3. IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

Permite conocer las actividades específicas de intervención propuestas, relacionándolas con los componentes ambientales del medio donde se desarrolla (entendidos como elementos, cualidades o procesos), y las acciones o actividades de éste susceptibles de producir impactos tanto positivos como negativos y de otra parte los factores del ambiente que se presume se verán afectados por estas actividades, repercutiendo en la calidad ambiental.

8.3.1. MÉTODO DE CHECK LIST

Este método nos permite identificar los impactos producidos en la zona de estudio. Ya que nos ayuda a reconocer las actividades antrópicas desarrolladas y/o los procesos geológicos, describir la causa y los efectos que estos producen.



Tabla N° 45: IDENTIFICACIÓN DE IMPACTO DE CHECK LIST DESCRIPTIVO.

PROCESOS NATURALES Y ACCIONES ANTRÓPICAS	DESCRIPCIÓN	EFFECTOS
Extracción de agua subterránea	Extracción de agua subterránea por sistemas de captación	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la cubierta vegetal. • Alteración del paisaje • Agotamiento de recursos hídricos. • Mejora de la calidad de la vida.
Extracción de material de construcción	Explotación	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración severa del paisaje. • Pérdida de la cobertura vegetal. • Alteración del habitat. • Generación de empleo.
Erosión de Suelos	Originados por escorrentías de manantiales y erosión de suelos en épocas de lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Deslizamientos de taludes. • Perdida de suelos • Desbordes. • Contaminación de agua.
Botaderos	Emplazamiento de desechos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Peligro para la salud. • Baja calidad de vida. • Lixiviación. • Contaminación de aguas subterráneas.
Actividad agrícola	Intensidad de uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de áreas productivas. • Cambios de uso del suelo. • Disminución de pastizales. • Alteración del ecosistema.
elaboración de teja	Es una artesanía que genera humo por elaboración de teja	<ul style="list-style-type: none"> • Ceguera en los ojos. • Alteración de habitat. • Contaminación medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DEL IMPACTO

Es importante determinar la magnitud de los impactos, para discriminar con mayor precisión los más representativos, y



principalmente porque permite una evaluación preliminar que aporta y sustenta el posterior análisis y evaluación cuantitativa de los impactos.

Para la evaluación en magnitud se utilizan los criterios de recuperación, persistencia, extensión e intensidad del probable impacto, el que se evalúa por medio de juicio directo.

Se utiliza la metodología Causa – Efecto adaptada a las condiciones de nuestra área de estudio. Esta metodología consiste en el cruce de un listado de las acciones antrópicas y procesos naturales, con otro de factores ambientales o indicadores de impacto ambiental, los que son relacionados en un diagrama matricial, construidos según necesidad y características del área de estudio.

En esta matriz se valoriza las interrelaciones de cada variable, con cada factor ambiental, estas valorizaciones están sustentadas en mediciones cuantitativas, utilizando para ello una escala de valoración de fácil interpretación, según su mayor o menor contribución al ambiente.

Escala	Calificación
1	Bajo impacto negativo
2	Ligero impacto negativo
3	Moderado impacto negativo
4	Severo impacto negativo
5	Alto impacto negativo

El resultado del impacto se medirá según la siguiente escala.

Escala	Calificación
0 - 70	Impacto mínimo
71 - 150	Impacto medio
151 - 300	Impacto significativo
301 a más	Impacto altamente significativo



Matriz Causa / Efecto para los impactos en la microcuenca de Ccochapunqo.

Factores Ambientales Impactados		Procesos Naturales y Acciones Antrópicas		Erosión de Suelos	Precipitación Pluvial	Sobreexplotación de Agua Subterránea	Extracción de Material	Sobrepastoreo	Actividad Agrícola	Botadero	Arrojo de residuos sólidos domésticos	Arrojo de aguas servidas	TOTAL
SUELO	Deterioro de suelos	3	2	1	3	2	3	1	2	1	1	18	
	Contaminación por agroquímicos	1	1	1	1	1	4	1	1	1	12		
	Deslizamiento	3	3	1	2	2	2	1	1	1	16		
AGUA	Escorrentía	2	4	1	1	2	1	1	1	1	14		
	Calidad	1	1	2	1	1	2	3	2	2	15		
	Agua subterránea	1	1	4	1	1	2	3	3	3	19		
AIRE Q	Agua superficial	2	1	1	1	1	2	2	2	3	15		
	Emisión de material particulado	1	1	1	3	1	1	1	1	1	11		
PAISAJE	Generación de malos olores	1	1	1	1	1	1	3	4	3	16		
	Alteración de la calidad visual	2	1	3	2	2	1	3	3	3	20		
FLORA	Pérdida de cobertura vegetal	2	1	2	2	4	2	1	1	1	16		
	Diversidad	1	1	1	1	3	2	1	1	1	12		
FAUNA	Alteración de hábitat	1	1	2	2	2	2	2	2	2	16		
	Disminución de fauna silvestre	1	1	1	1	2	2	2	1	1	12		
SOCIOECONÓMICO-CULTURAL	Conflictos sociales	1	1	2	3	3	2	2	3	2	19		
	Calidad de vida	1	1	1	1	1	1	2	3	3	14		
	Seguridad / salud	2	1	2	2	2	1	3	3	3	19		
TOTAL		26	23	27	28	31	31	32	34	32	264		

INTERPRETACIÓN DE LA MATRIZ CAUSA-EFECTO DE LOS IMPACTOS EN LA MICROCUENCA DE CCOCHAPUNQO

De acuerdo a la escala de intensidad o severidad se le da un calificativo de Impacto Significativo por encontrarse entre los valores 151-300, y nuestro valor obtenido es 264.

De acuerdo a la matriz causa-efecto empleada para evaluar los factores ambientales afectados en la microcuenca de Ccochapunqo, se tiene a continuación los factores más impactados:

- El paisaje: impactado por la alteración de la calidad visual.
- El agua: impactado por la sobreexplotación de aguas subterráneas.
- Socioeconómico-cultural: impactado por los conflictos sociales.



CONCLUSIONES.

- La microcuenca de Ccochapunqo tiene una extensión de 17.613 Km² y consta de terrenos de productividad agrícola media a baja y en su mayoría en seco.
- La microcuenca de Ccochapunqo presenta un clima templado, con una precipitación media anual generada de 986.72 mm, y una temperatura que van desde los 6°C hasta los 22°C, siendo la temperatura máxima media mensual de 12.10°C en el mes de Noviembre, y la temperatura mínima de 7.61 °C en el mes de Julio. Así mismo se tiene una humedad relativa de 62%.
- La zona de estudio se encuentra emplazada en la faja intracordillerana, formando parte de las cuevas andinas, esta unidad presenta un relieve escalonado a manera de cuevas originado por rocas estratificadas resistentes a la erosión, con una marcada inclinación, siendo los fallamientos y plegamientos los que particularizan esta unidad. Por lo tanto la estrecha relación existente entre la geomorfología y las aguas subterráneas condicionadas por la geología, conforma la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como también los aportes de precipitación y escorrentía superficial.
- La topografía de la microcuenca presenta un relieve accidentado con predominio de pendientes desde muy fuertemente empinado a muy empinado, que abarcan el 56.78 % de la superficie total; y que favorecen la rápida escorrentía de las aguas superficiales.
- De acuerdo a los parámetros geomorfológicos la microcuenca de Ccochapunqo tiene un Coeficiente de Compacidad de 1.46



de forma oval redonda a oval, con un Factor de Forma de 0.352 que nos señala que la microcuenca tiene poca tendencia a concentrar intensidades de lluvias. Así mismo la microcuenca presenta una jerarquía de los cauces de hasta cuarto orden.

- En el ámbito de la microcuenca Ccochapunqo aflora principalmente el Grupo San Jerónimo, que queda inmediatamente cubierto por depósitos de material cuaternario, resultado de la interacción con el intemperismo y la meteorización.
- De acuerdo al análisis que se hizo en la cuenca, tomando en consideración: las pendientes principales, la forma de concentración de las aguas, la cubierta vegetal existente, la permeabilidad de los terrenos y algunos otros datos de interés, se podrá determinar el coeficiente de escurrimiento que deba aplicarse en cada caso particular es de 0.456 m^3 .
- Se midió el flujo en los cursos de agua de la cuenca del río Ccochapunqo en seis puntos durante la época seca del año y se obtuvo en el curso principal 15.8 l/s. La Medición de caudales para la época húmeda se obtuvo en el curso principal 27.3 l/s.
- La totalidad de las fuentes de agua inventariados dentro de la microcuenca es de 13, acumulando un caudal promedio de 25.8 l/s.
- De acuerdo a las pruebas de infiltración realizadas en suelos y rocas, en la microcuenca se tiene unidades geohídricas como: Acuífero fisurado conformado por areniscas, limolitas, arcillitas, y fuertemente fracturadas, correspondientes a la Formación San Sebastián, Kayra y Soncco constituyendo una



unidad acuífera media; Acuitardo fisurado conformado por lutitas y limolitas intercaladas con areniscas finas fuertemente fracturadas y compactas correspondientes a la Formación Maras.

- Del análisis de las fórmulas iónicas, podemos indicar que en las muestras analizadas, de los manantiales que afloran en la microcuenca de Ccochapunqo se obtuvo:
 - Acuífero Kayra: Aguas bicarbonatadas cálcicas, sulfatado-magnésicas que, con un contenido menor de 200 ppm de CaCO_3 se consideran "moderadamente duras". Los análisis bacteriológicos indican que no existe contaminación fecal.
 - Acuífero Soncco: Aguas sulfatado-cálcicas, bicarbonatadas sódicas que con un contenido mayor a 200 ppm de CaCO_3 se consideran "duras". Los análisis bacteriológicos indican que no hay contaminación fecal.
- El potencial Hídrico de la microcuenca es importante tomando en cuenta su área de influencia inmediata (Pucyura-Anta-Cachimayo), y sobretodo el control estructural del río Ccochapunqo y sus quebradas aledañas.
- Las Formaciones Kayra y Soncco se encuentran ampliamente en la zona y son el cuerpo por el que, gracias a su empaquetamiento y control estructural, discurren las aguas subterráneas de forma continua durante todo el año.
- El río Ccochapunqo esta alimentado por el acuífero Soncco y el acuífero Kayra.



- Los índices de infiltración arrojados en los ensayos de campo para ambas formaciones Kayra y Soncco son relativamente óptimos; por lo que esto sumado a la extensión del afloramiento nos lleva a considerar que se trata de un acuífero importante a nivel provincial.
- Se ha podido observar a partir de los estudios del INEI en el campo agropecuario que, los productos cultivados en la microcuenca tienen un potencial de casi el 200% bajo riego. Es decir que no se aborda un uso mayor del suelo.
- La infraestructura para captación del recurso hídrico es relativamente escasa, debido a la reducida población de la zona.
- La práctica de cosecha de aguas ha sido adoptada por la asociación de regantes de la zona; sin embargo aún hay mucho que hacer en términos institucionales. La municipalidad de Pucyura no ha atendido este problema que ha redundado inevitablemente en el abandono de la zona por parte de muchas familias.

RECOMENDACIONES.

- Los análisis de trazas por tramos en el acuífero servirían para identificar los recorridos del agua subterránea, además de tener una aproximación más precisa.
- Debido a la magnitud del Acuífero Kayra-Soncco se recomienda realizar aún más ensayos de infiltración y permeabilidad insitu.
- Las instituciones científico académicas debieran tomar parte activa en la investigación de nuestros recursos, este



estudio pudo identificar un potencial acuífero que podría ser de mayor extensión.

- Una articulación comunidad científica-instituciones-asociación de regantes podría contribuir bastamente al desarrollo de nuevas técnicas de captación y distribución del recurso hídrico.
- Debido a la presencia de surgencias acuíferas que se alimentan a través del control estructural (fracturas y pliegues) del Grupo San Jerónimo es necesario promover la presencia de cubierta vegetal como medio de asegurar la permanencia de cuerpos de agua como los bofedales y así prevenir el desecamiento del acuífero.
- Se recomienda la implementación de un comité de gestión que debe estar encabezado por la municipalidad distrital, organismos no gubernamentales y la sociedad civil, para elaborar planes de gestión tanto en recursos hídricos como en gestión ambiental de la microcuenca de Ccochapunqo.
- Realizar prospección geofísica en áreas que presentan condiciones litológicas y estructurales favorables a la formación de acuíferos explotables, con el objeto de aumentar el flujo de las aguas subterráneas.
- Realizar una galería filtrante en las capas permeables, con el fin de aumentar el volumen explotable. Evaluando el área del acuífero, para permitir la utilización de la recarga artificial mediante un sistema de zanjas de infiltración y mejorar las reservas subterráneas del acuífero, sin riesgo de su agotamiento o el descenso del caudal inicial en los puntos de surgencia.



- Implementar los sistemas de captación, regulación y conducción, de agua, tanto para consumo humano como para riego. Y así explotar este recurso en un alto porcentaje.
- Concientizar a la población sobre el uso racional del agua para consumo humano, ya que no se cuenta con un sistema de micromedición de agua; mediante charlas dirigidas, programas radiales, afiches y otros a la población beneficiaria.
- Se recomienda un control del manejo inadecuado de los residuos sólidos domésticos que originan la contaminación del suelo, realizando talleres participativos de concientización ambiental, señalización de seguridad y medio ambiente y establecer campañas de difusión ambiental.

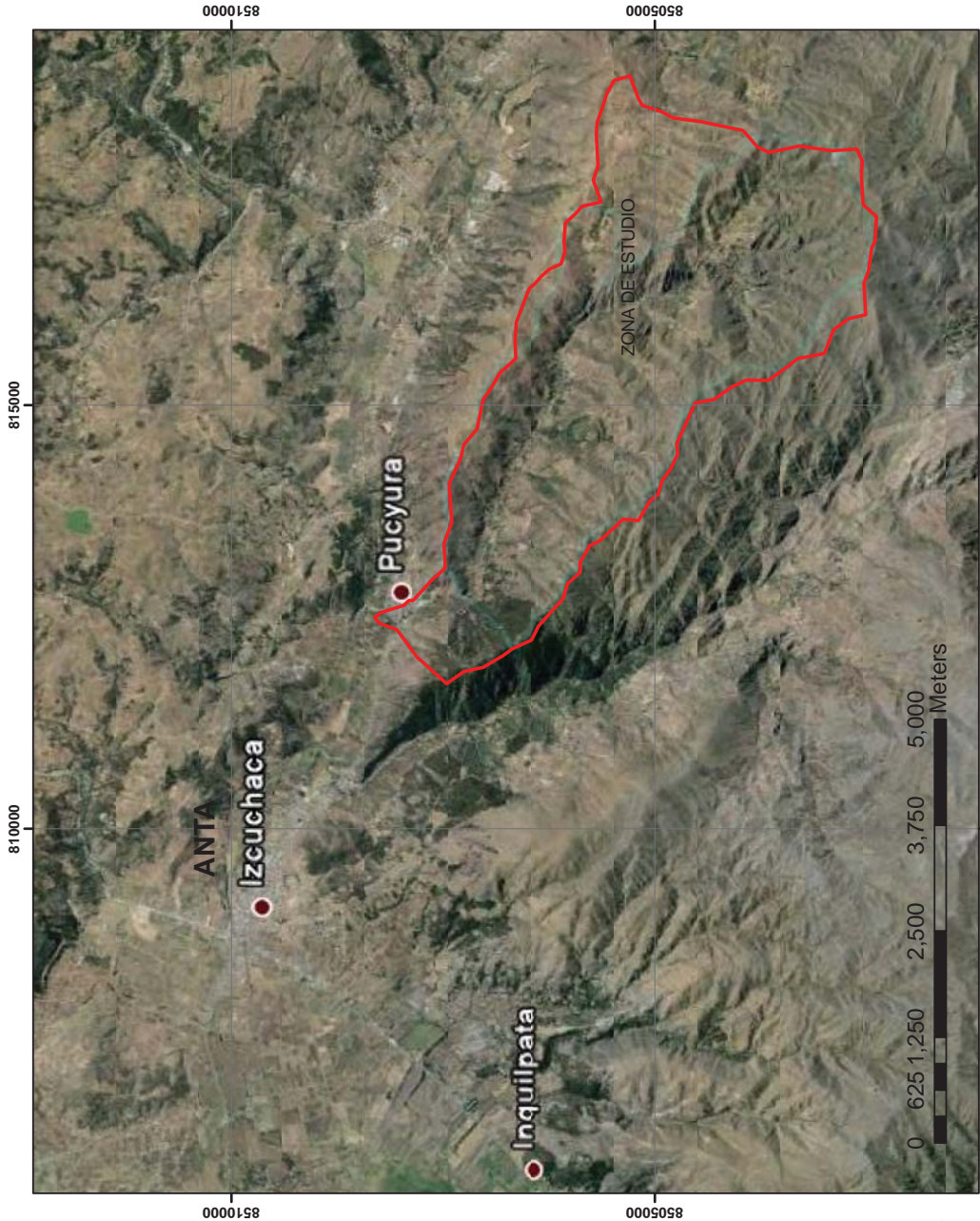
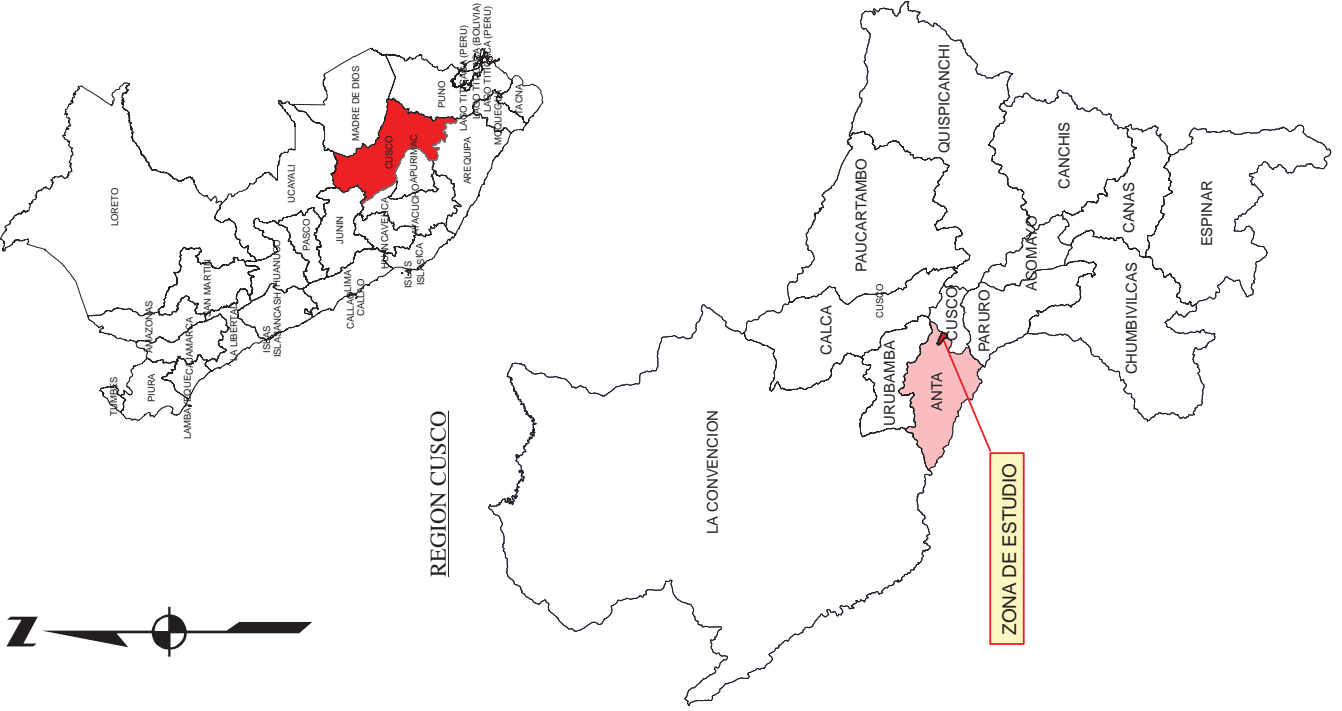
BIBLIOGRAFÍA

- Mendivil Salvador, Dávila David, Sánchez Agapito, León Walter. 1994. Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. Boletín del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 28s y 29 s.
- Tovar Cayo Tomasa, 1996. Estudio Hidrogeológico de la Galería hidráulica de Marashuayco San Jerónimo – Cusco; trabajo de tesis.
- Roman Arenas Freddy, Pumayali Saloma Rene, 1995. La Geología y la Tectónica entre Urcos, Huancarani y Oropesa, y su Influencia en la Geodinámica Externa; trabajo de tesis.
- Mamani Vilcapaza María, Quiequihuaña Zavala Edith, 2002. Estudio hidrogeológico de las Fuentes de Captación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Margen Derecha del Río Huatanay – Huancaro; trabajo de tesis.



- Chereque Moran Wendor. “Hidrología para estudiantes de ingeniería civil”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima 1989.
- Villon Bejar Máximo. “Hidrología”. Editorial Villon, Lima 2002.
- Castany E. 1975. Trabajo práctico de las aguas subterráneas. Ediciones Omega.
- Pulgar Vidal J. 1976. Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú. Lima Perú.
- CCAIJO, 2008. Diagnóstico de la Provincia de Quispicanchi. Edición Ccaijo
- Nicole Bernex, CCAIJO. 1997. Atlas Provincial de Quispicanchi.

MAPA PERU



ESCALA: 1:60,000

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA

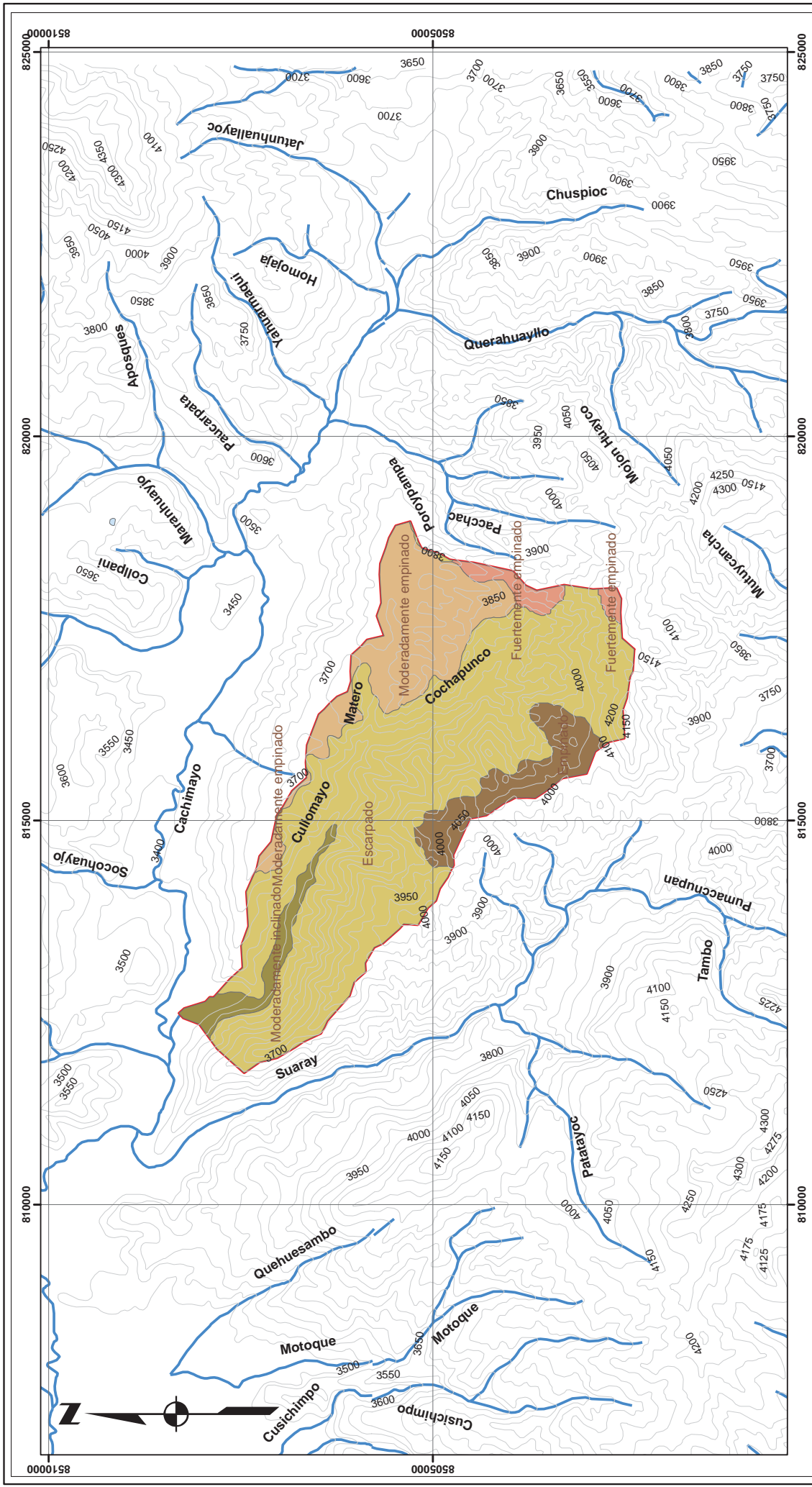
TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA CCOCHA PUNCO EN LA PROVINCIA DE ANTA

PLANO DE UBICACION

ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA
 Br. JIMMI VILLALBA VELLASQUE



UBICACION: Dpto : Cusco Prov : Anta Dist : Pucyura	ESCALA: INDICADA	FECHA: AGOSTO 2016	MAPA Nro: 01
--	------------------	--------------------	---------------------



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA

TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA CCOCHA PUNCO EN LA PROVINCIA DE ANTA

PLANO GEOMORFOLÓGICO

ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA
 Br. JIMMI VILLALBA VELASQUE

UBICACION: Dpto : Cusco
 Pro : Anta
 Dist : Pucyura






ESCALA: INDICADA

FECHA: AGOSTO 2016




MAPA Nro: **02**

ESCALA: 1:50,000

SIMBOLOGIA

-  Empinado
-  Escarpado
-  Fuertemente empinado
-  Moderadamente empinado
-  Moderadamente inclinado

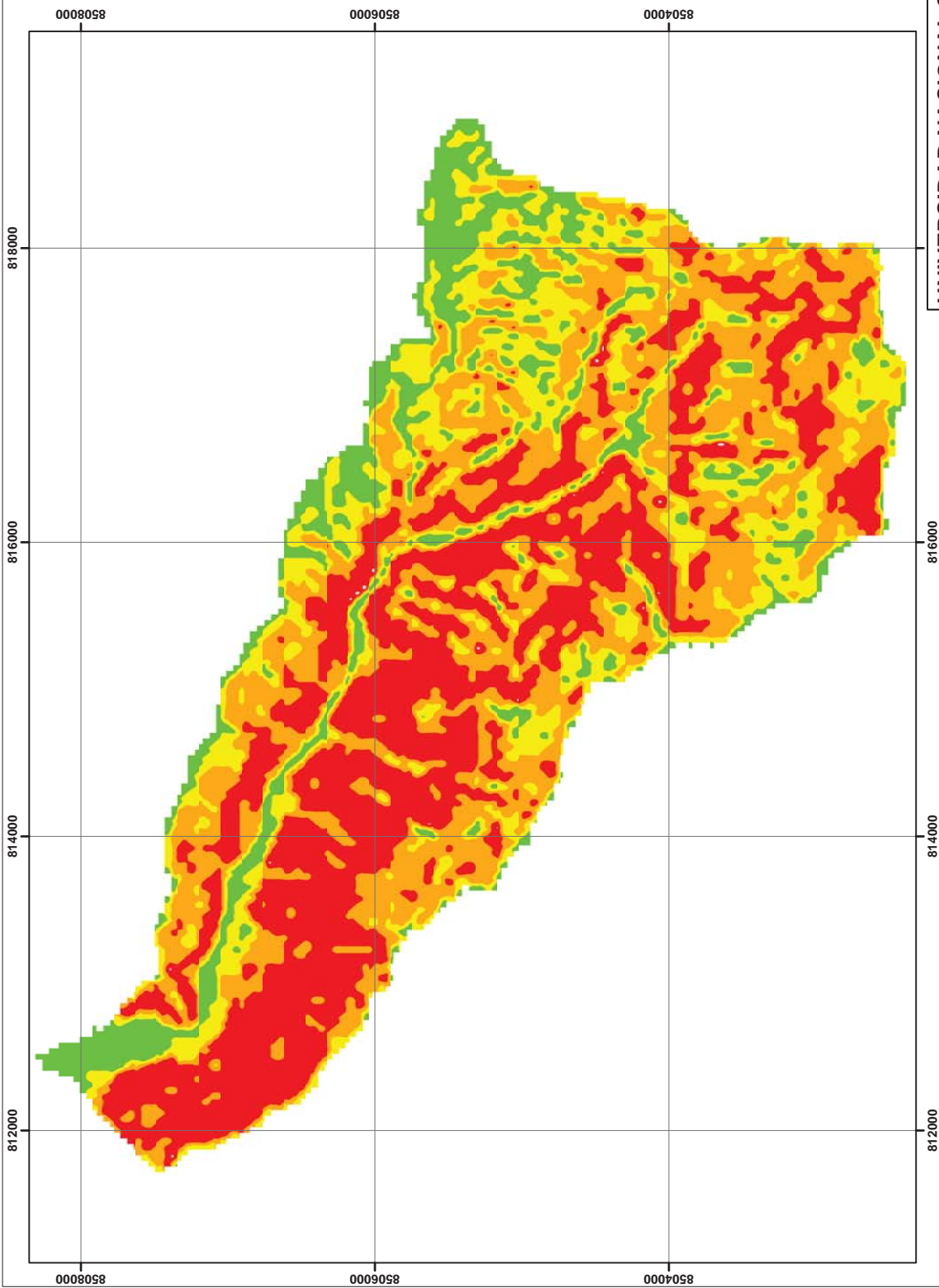
LEYENDA

-  CURVAS DE NIVEL
-  ZONA DE ESTUDIO
-  RIOS

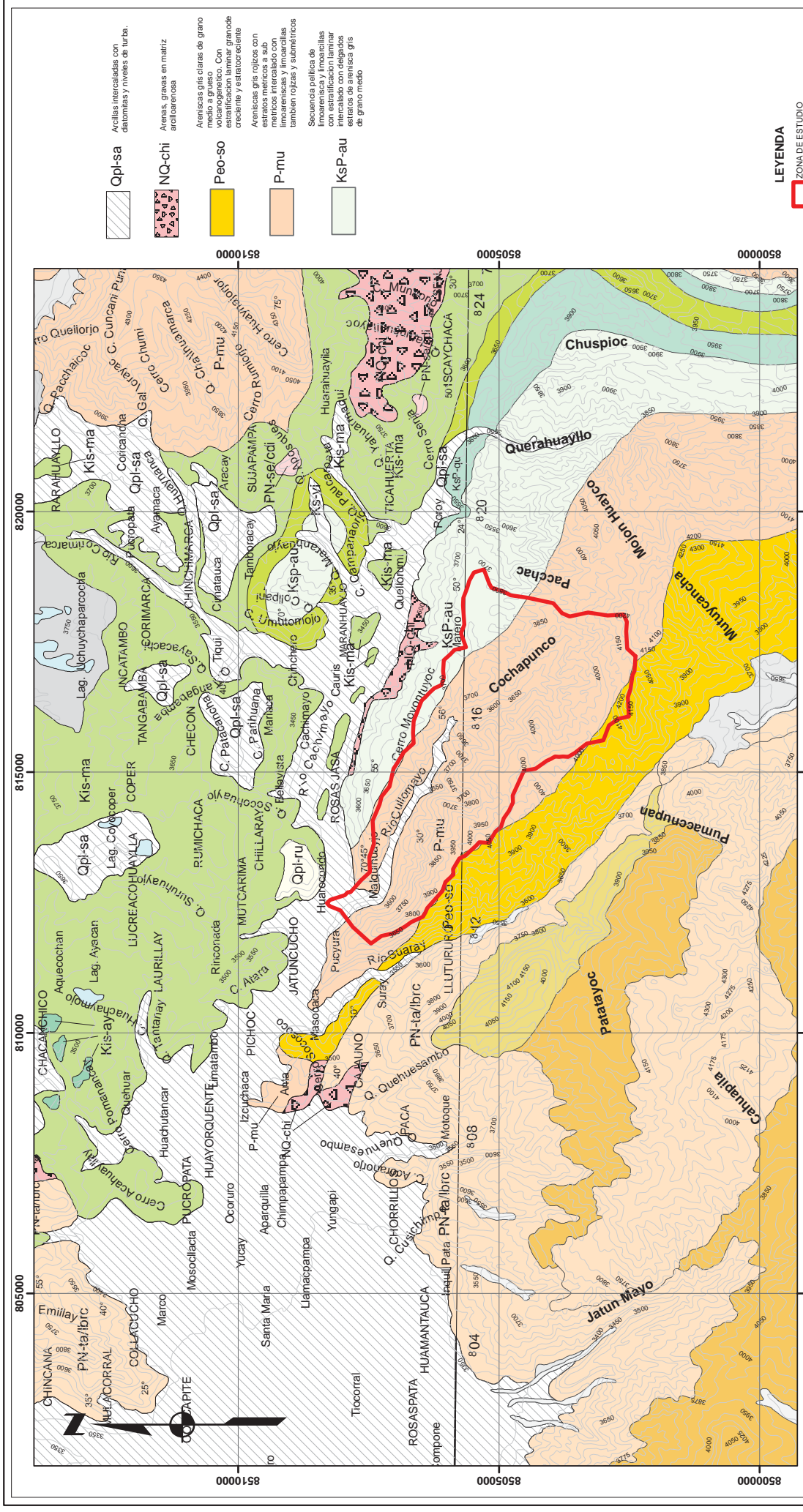
0 635 1,270 2,540 3,810 5,080 Meters








LEYENDA



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA			
TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA CCOCHA PUNQO EN LA PROVINCIA DE ANTA			
PLANO DE PENDIENTES			
ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA Br. JIMMI VILLALBA VELASQUE			
UBICACION: Dpto : Cusco Prov : Anta Dist : Pucyura	ESCALA: INDICADA	FECHA: AGOSTO 2016	MAPA Nro: 03



-  Qpl-sa
Areniscas intercaladas con
dialomitas y niveles de turba.
-  NQ-chi
Arenas, gravas en matriz
arcilloarenosa
-  Pso-so
Areniscas gris claras de grano
medio a grueso. Con
estratificación laminar grande
vertical y estratos cenitales
-  P-mu
Areniscas gris rojizas con
estratos metricos a sub-
metricos, tambien limonitas
limonosas y limonosas
tambien rojizas y submetricos
-  Ksp-au
Secuencia pelitica de
areniscas y limonitas
intercalado con delgados
estratos de arenisca gris
de grano medio

LEYENDA
 ZONA DE ESTUDIO

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA

TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA
MICROCUCIENCA CCOCHA PUNGO EN LA PROVINCIA DE ANTA

PLANO GEOLOGICO

ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA
Br. JIMMI VILLALBA VELASQUE

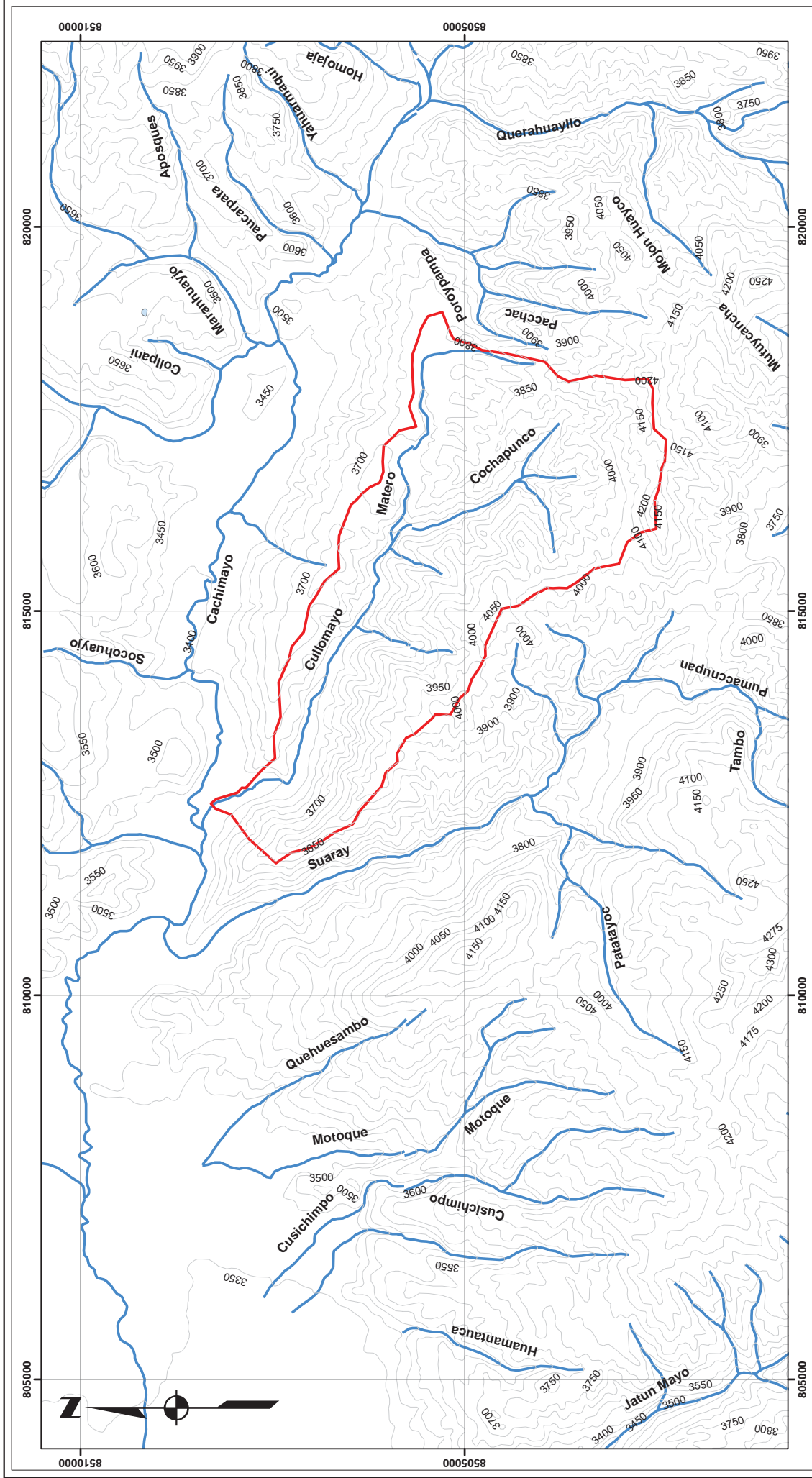
UBICACION: Dpto : Cusco
Prov : Anta
Dist : Pucyura

ESCALA: INDICADA

FECHA: AGOSTO 2016

MAPA Nro: **04**





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA

TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA CCOCHA PUNQO EN LA PROVINCIA DE ANTA

PLANO HIDROLOGICO

ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA
 Br. JIMMI VILLALBA VELASQUE

UBICACION: Dpto : Cusco
 Proov : Anta
 Dist : Pucyura

ESCALA: INDICADA

FECHA: AGOSTO 2016

MAPA Nro: **05**

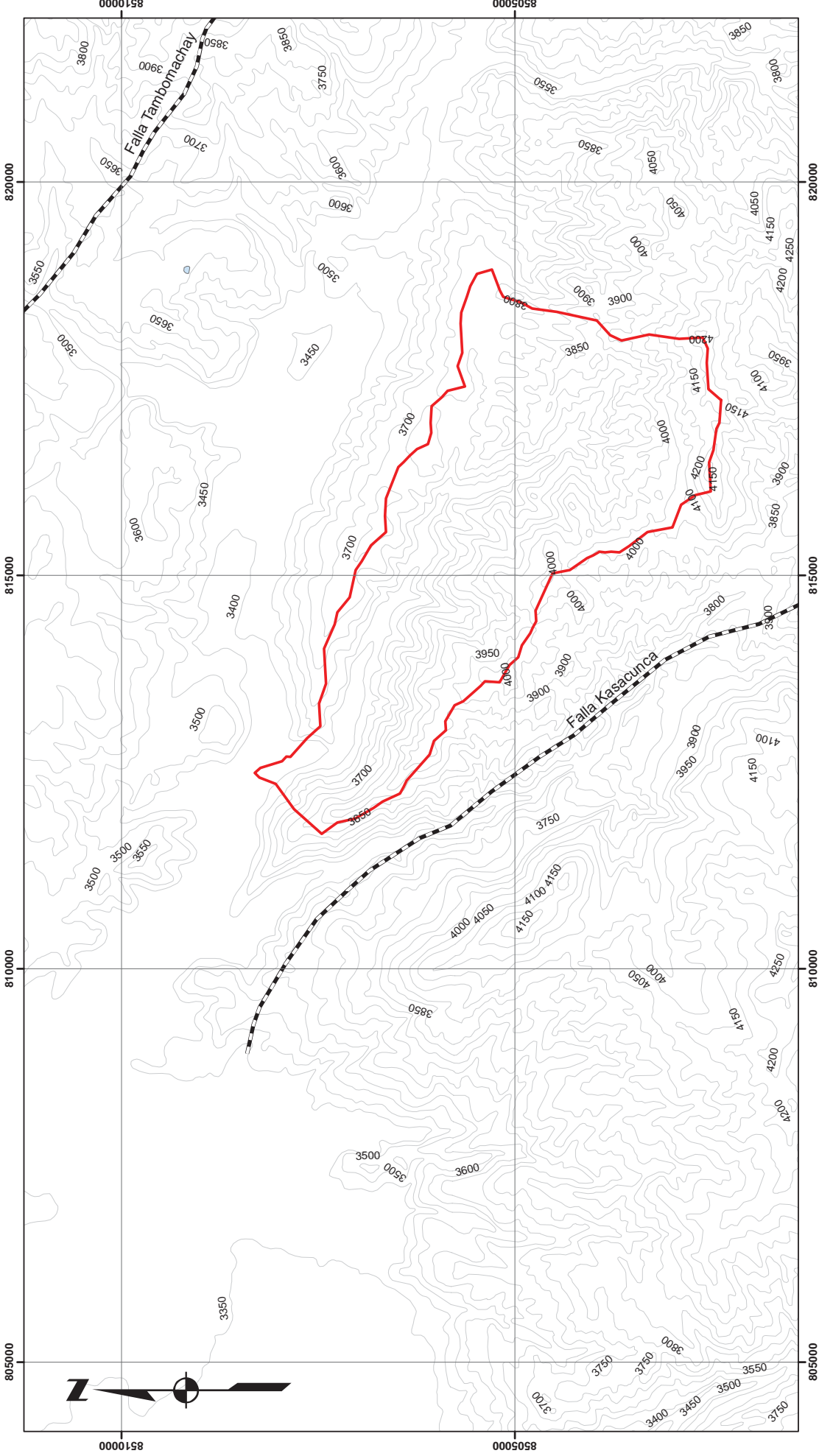


ESCALA: 1:50,000

LEYENDA

-  CURVAS DE NIVEL
-  ZONA DE ESTUDIO
-  RIOS





LEYENDA

-  FALLAS
-  CURVAS DE NIVEL
-  MICROCUENCA



ESCALA: 1:50,000

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAB DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA

TESIS: ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA CCOCHA PUNGO EN LA PROVINCIA DE ANTA

PLANO ESTRUCTURAL

ELABORADO POR: Br. PIERO OMAR HUARCAYA FERNANDEZ BACA
 Br. JIMMI VILLALBA VELASQUE

UBICACION: Dpto : Cusco
 Prov : Anta
 Dist : Pucyura

ESCALA: INDICADA

FECHA: AGOSTO 2016

MAPA Nro: **06**

