

ESTUDIO:

MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO

INFORME FINAL

PROYECTO INDECI – PNUD PER / 02/ 051 CIUDADES SOSTENIBLES

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL INDECI

PROYECTO INDECI – PNUD PER / 02/ 051 CIUDADES SOSTENIBLES

DIRECTOR NACIONAL

Contralmirante A.P. (r)
JUAN LUIS PODESTA LLOSA

PROYECTO INDECI – PNUD PER / 02/ 051 CIUDADES SOSTENIBLES

Director Nacional de Proyectos Especiales **ALFREDO ATKINGS**

Asesor Técnico Principal

JULIO KUROIWA HORIUCHI

Asesor

ALFREDO PEREZ GALLENO

Responsable del Proyecto **ALFREDO ZERGA OCAÑA**

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL INDECI

EQUIPO TECNICO CONSULTOR

Coordinador – Responsable del Estudio Especialista en Geología VICTOR CARLOTTO CAILLAUX

Especialista en Hidrología
SANDRO GUTIERREZ SAMANEZ

Especialista en Geotecnia

AMERICO MONTAÑEZ TUPAYACHI

Especialista en CAD-GIS **HECTOR ACURIO CRUZ**

Colaboradores

JOSE CARDENAS ROQUE

PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

CONTENIDO

CAPITULO I: GENERALIDADES	PAG
1.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	01
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.	01
1.3 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	01
1.4. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	02
1.5. ACCESO Y VIAS DE COMUNICACIÓN	03
1.6. CONDICIONES CLIMÁTICAS	03
CAPITULO II: ETAPAS DE DESARROLLO DEL ESTUDIO	
2.1. GENERALIDADES	04
2.2. ETAPA DE RECOPILACION DE INFORMACION EXISTENTE	04
2.3 ETAPA DE INVESTIGACIONES DE CAMPO	05
2.4 ETAPA DE ENSAYOS DE LABORATORIO	07
2.5 ETAPA DE GABINETE	07
CAPITULO III: ESTUDIOS BASICOS	
3.1 CARTOGRAFIA Y TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO	08
3.2. GEOMORFOLOGIA	08
3.2.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL	
3.2.1.1. CORDILLERA ORIENTAL	
3.2.1.2. VALLE DEL URUBAMBA-VILCANOTA	
3.2.2. GEOMORFOLOGIA LOCAL	
3.2.2.1. UNIDAD DE LADERAS	
1. LADERAS DE PENDIENTE SUAVE	
a) Cono aluvial Patacancha	
b) Piso de valle de la quebrada Patacancha	
2. LADERAS DE PENDIENTE PRONUNCIADA	
3.2.2.2. UNIDAD DE QUEBRADAS Y RIOS	
1. QUEBRADA PATACANCHA	
2. VALLE URUBAMBA-VILCANOTA	
3.3. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO	11
3.3.1. ESTRATIGRAFIA	
3.3.1.1. FORMACION OLLANTAYTAMBO (C-o)	
3.3.1.2. FORMACION VERONICA (O-v)	
3.3.1.3. FORMACION SAN JOSE (Om-sj)	
3.3.1.4. FORMACION SANDIA (Os-s)	
3.3.1.5. GRUPO COPACABANA (Pi-c)	
3.3.1.6. GRUPO MITU (PsTi-m)	
3.3.1.7. FORMACION HUAMBUTIO (JsKi-hm)	
3.3.1.8. FORMACION HUANCANE (Ki-hn)	
3.3.1.9. GRUPO YUNCAYPATA	
1. FORMACIÓN PAUCARBAMBA (Ki-pb)	
2. FORMACIÓN MARAS (Ki-ma)	
3. FORMACIÓN AYAVACAS (Ki-ay)	
3.3.1.10, CUATERNARIO	
1. DEPÓSITOS GLACIARIOS (Q-g)	
2. DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)	
3. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-f)	
4. DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-co)	
3.3.2. ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS (P-gr)	
3.3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	
3.4. HIDROLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO	16
3.4.1. UBICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	
3.4.2. RIO VILCANOTA	
3.4.3. IDENTIFICACION DE LA SUB-CUENCA	

3.4.3.1. SUB CUENCA DEL RIO PATACANCHA.	
1. RIO PATACANCHA	
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMORFOLÓGICAS - CUENCA DEL	
RIO PATACANCHA	
3. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS - CUENCA DEL PATACANCHA	
4. CÁLCULO DEL GASTO Y ANÁLISIS DEL RÉGIMEN FLUVIAL	
5. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	
6. ZONAS DE PELIGRO DE DESBORDAMIENTO	
7. EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	
8. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA CUENCA	
3.5. GEOTECNIA DEL AREA DE ESTUDIO	25
3.5.1. EXPLORACION DE CAMPO	
3.5.1.1. TECNICAS DE INVESTIGACION DE CAMPO	
3.5.1.2. NUMERO DE PUNTOS INVESTIGADOS	
3.5.1.3. PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION	
3.5.1.4. TIPO DE MUESTRAS EXTRAIDAS	
3.5.2. ENSAYOS IN-SITU	
3.5.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	
3.5.4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	
3.5.4.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUB SUELO	
3.5.4.2 ANALISIS GEOTECNICO DE CIMENTACIONES	
3.5.5. CLASIFICACION DE SUELOS (ZONIFICACION GEOTECNICA)	
3.5.6. PAUTAS TECNICAS DE CONSTRUCCIÓN	
CAPITULO IV: MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO	
CAFITULO IV. MAFA DE FELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTATIAMBO	
4.1. MAPA DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO	32
4.1.1. FENOMENOS DE ORIGEN GEOLOGICO-CLIMATICO	
4.1.1.1. DESLIZAMIENTOS-DERRUMBES	
4.1.1.2. ALUVIONES	
4.1.1.3. CARCAVAS	
4.1.2. EVALUACION DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO	
4.1.2.1. CONO ALUVIAL PATACANCHA	
4.1.2.2. PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO DE LA QUEBRADA PATACANCHA	
1. MARGEN DERECHA DEL RIO PATACANCHA	
a) Zona de conos aluviales CA	
b) Zona de conos de deyección CC	
c) Zona de deslizamientos DA	
2. MARGEN IZQUIERDA DEL RIO PATACANCHA	
a) Zona de conos aluviales CB	
b) Zona de conos de deyección CD	
c) Zona de deslizamientos DB	
4.1.2.3. PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO DE LA MARGEN IZQUIERDA	
DEL RIO VILCANOTA	
4.1.3. ZONIFICACION DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO	
4.1.3.1. ZONIFICACIÓN DE PELIGRO POR ALUVIÓN PARA LA CIUDAD DE	
OLLANTAYTAMBO	
4.2. MAPA DE PELIGRO CLIMATICO	42
4.2.1. FENOMENOS DE ORIGEN CLIMATICO	
4.2.1.1. INUNDACIONES	
4.2.2. EVALUACION DE PELIGRO CLIMATICO	
4.2.3. ZONIFICACIÓN DE PELIGRO CLIMATICO	
4.2.3.1. ZONIFICACION DE PELIGRO POR INUNDACION	
4.2.3.2. ZONIFICACION GEOLOGICA DE PELIGRO POR INUNDACION –	
RIO VILCANOTA	
4.3. MAPA DE PELIGROS GEOTECNICOS	45
4.3.1. FENOMENOS DE ORIGEN GEOTECNICO	
4.3.2. EVALUACION DE PELIGROS GEOTECNICOS	
4.3.3. ZONIFICACION DE PELIGROS GEOTECNICOS 4.4. MAPA DE PELIGROS MULTIPLES	47
44 WIATA DE CELUKUN MILL LIPLEN	/1 /

4.4.1. ZONIFICACION DE PELIGROS MULTIPLES

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

MAPAS

MAPA Nº 01: UBICACIÓN MAPA Nº 02: GEOLOGICO

MAPA Nº 03: CUENCA HIDROLOGICA QUEBRADA PATACANCHA

MAPA Nº 04: CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS

MAPA Nº 05: CLASIFICACION DE SUELOS

MAPA Nº 06: GEODINAMICO

MAPA Nº 07: ZONIFICACION DE PELIGRO POR ALUVION MAPA Nº 08: ZONIFICACION DE PELIGRO POR INUNDACION

MAPA Nº 09: ZONIFICACION GEOLOGICA DE PELIGRO POR INUNDACION - RIO VILCANOTA

MAPA Nº 10: ZONIFICACION DE PELIGROS MULTIPLES

ANEXOS

ANEXO Nº 01: HIDROLOGIA

ANEXO Nº 02: UBICACIÓN DE CALICATAS Y AUSCULTACIONES

ANEXO Nº 03: FICHAS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO Nº 04: PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO

ANEXO № 05: CALCULOS DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE CIMENTACIONES

ANEXO Nº 06: PANEL DE FOTOGRAFIAS

- Fotos del desarrollo de los trabajos geológico-geodinámico

- Fotos del desarrollo de los trabajos geotécnicos

- Fotos del desarrollo de los trabajos hidrológicos

RESUMEN

El presente Informe ha sido realizado dentro del marco del Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051 – Ciudades Sostenibles – Mapa de Peligros de las Ciudades de Pisaq, Calca, Urubamba y Ollantaytambo.

Este informe corresponde a la ciudad de Ollantaytambo que se halla ubicada en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y departamento del Cusco, donde se presenta como producto final, el mapa de peligros asociado a la ocurrencia de diversos fenómenos naturales; fundamentalmente de origen geológico-climático, geotécnico y climático..

La ciudad de Ollantaytambo se encuentra sobre formaciones geológicas de origen sedimentario reciente (aluvial); mientras que en la quebrada Patacancha se tienen afloramientos de rocas de origen sedimentario, volcánico, metamórfico e intrusivo, cuyas edades oscilan entre el Paleozoico Inferior (Cambriano) y Cuaternario, este último cubriendo las formaciones antiguas y que principalmente se componen de depósitos coluviales, aluviales y fluviales.

La ciudad de Ollantaytambo se encuentra disectada por el río Patacancha que cruza la ciudad en una dirección Norte-Sur. En la margen izquierda se encuentra emplazado el centro histórico así como restos arqueológicos incas (andenes). En la margen derecha se encuentra gran parte del Conjunto Arqueológico Ollantaytambo. La quebrada Patacancha es una de las de mayor longitud en el Valle Sagrado de los Incas, lo que se traduce en el impresionante cono aluvial sobre la que se sitúa la ciudad de Ollantaytambo.

Los estudios técnicos realizados en el proyecto han sido los referidos a la geología, hidrología y geotecnia, con el fin de obtener los mapas de peligros, para lo cual se ha seguido una metodología para la obtención de los datos y su posterior análisis.

De los estudios geológicos-geodinámicos se desprende que en la zona de estudio se han identificado deslizamientos antiguos, activos, conos aluviales, conos de deyección (derrumbes), erosión e inundación de los ríos Patacancha y Vilcanota, erosión e inundación. Estos peligros geológico-climático y climático, provocan la inestabilidad de las laderas, que se incrementa debido a causas antrópicas (p.e. corte de taludes y deforestación), así como a causas naturales de alto fracturamiento de las rocas, fuerte pendiente de laderas, y la presencia de fuertes precipitaciones pluviales en la zona de estudio.

El tamaño considerable de la cuenca Patacancha puede concentrar un volumen de escorrentía que supere fácilmente la capacidad de la canalización, pues lluvias con períodos de retorno de 50 años, pueden ocasionar desbordamientos y consiguientes inundaciones en áreas adyacentes del tramo canalizado que atraviesa la ciudad. Estas inundaciones afectarían las márgenes del río Patacancha, donde se sitúan viviendas, terrenos de cultivo, así como restos arqueológicos incas.

Los peligros de origen climático de mayor incidencia en el área de estudio son las inundaciones, que afectan por tramos ambas márgenes del río Patacancha y margen izquierda del río Vilcanota. En estas márgenes donde no se respeta la faja marginal se ubican viviendas y terrenos de cultivo, razón por la cual se consideran como zonas de peligro alto. El peligro de inundación se puede incrementar por la presencia de 3 puentes (carretera de salida a

Occobamba, entrada al Conjunto Arqueológico Ollantaytambo, y paso de vía ferroviaria), que pueden servir como zonas de represamiento.

En la parte alta del cauce del río Patacancha, los materiales aluviales tienen gravas desde las 2 pulgadas hasta bloques de 0.40 metros de diámetro, mientras que en el tramo canalizado de la ciudad, los materiales transportados llegan hasta los 50 cm de diámetro.

En el sector urbano y las zonas de expansión de la Ciudad de Ollantaytambo, los estudios geotécnicos indican la presencia de hasta 03 tipos de suelos en función de sus características geotécnicas:

- 1. En el sector San Isidro, Pillcohausi, Mascabamba, Choquepata-estación ferroviaria y Bandolista-carretera Ollantaytambo Occobamba; se encuentran suelos gruesos, granulares compuestos por gravas tales como GP (Grava mal graduada con arena), gravas GM (Grava limosa con arena) y suelos GM-GC (Grava limo arcillosa con arena) con presencia de bolonería en algunos casos.
- 2. En el sector Lomadas (Compone) se encuentran suelos finos como CL-ML (Arcilla limo arenosa) y.
- 3. En el sector Huayronccoyoc pampa se encuentran suelos finos ML (Limo inorgánico con arena).

En función a las propiedades resistentes de los suelos en el sector urbano y zonas de expansión de la ciudad de Ollantaytambo se determinaron 03 zonas, con la descripción siguiente:

- 1. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 0.50 a 1.00 Kg/cm², considerando los sectores de Pillcohuasi, Huayronccoyoc pampa y Mascabamba.
- 2. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 1.00 a 1.50 Kg/cm², considerando los sectores de Lomadas y San Isidro.
- 3. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 1.50 a 2.00 Kg/cm², considerando los sectores de Choq'epata (estación ferroviaria) y Bandolista (carretera Ollantaytambo-Occobamba).

La ciudad de Ollantaytambo se ha dividido en 04 niveles de peligro (Mapa de Zonificación de Peligros Múltiples) en función a la ocurrencia de peligros de origen geológico-climático, geotécnico y climático; según la descripción siguiente:

Zona de Peligro Muy Alto

Corresponde a una franja cercana al río Patacancha y los bordes del río Vilcanota, donde la peligrosidad está caracterizada por caudales máximos relacionados a lluvias (50 años) que producirían inundaciones y además aluviones.

Zona de Peligro Alto

Se ha determinado una franja paralela a la zona de peligro muy alto, tanto en el río Patacancha, así como en el Vilcanota, donde las características de peligro se dan por caudales máximos de 100 años, en el caso de Patacancha también por aluviones. Aquí se consideran además argumentos de geología de campo sobre inundaciones antiguas que han afectado la zona y pueden ser mayores a los 100 años.

PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

Zona de Peligro Medio

Corresponde a zonas donde los suelos tienen características portantes de 0.5 a 1.0 Kg/cm2, y las inundaciones del río Vilcanota ó aluviones mayores en el río Patacancha.

Zona de Peligro Medio a Bajo

Son aquellas que presentan buenas características mecánicas de los suelos y son poco o nada propensas a inundaciones tanto del río Patacancha, así como del río Vilcanota.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Los antecedentes de estudios sobre seguridad física de la ciudad de Ollantaytambo son escasos. Poco ha sido desarrollado por las entidades competentes con respecto a la seguridad física de la ciudad de Ollantaytambo, salvo trabajos académicos aislados muy puntuales relacionados a la problemática geodinámica de las principales quebradas (Patacancha, Yuracmayo y Vilcanota), así como la determinación de parámetros geotécnicos realizados por tesistas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

La actual situación referente al conocimiento de los peligros físicos que amenazan las áreas urbanas y de expansión urbanística de la ciudad de Ollantaytambo, indica que la información existente posible es muy aislada y no divulgada, razón por la cual se desarrolló un estudio de mecánica de suelos o un estudio específico de peligros por variadas razones para una obra importante y de características particulares; sin embargo, es necesario contar con una información racional y zonificada que permita su aplicación práctica en la planificación urbana de la ciudad de Ollantaytambo.

Por las razones antes expuestas; es necesario contar con un documento que permita tener una zonificación de peligros de variado origen: geológico-climático, geotécnico y climático, para el área urbana y expansión urbanística de la ciudad de Ollantaytambo y es por ésta razón, que dentro del marco del Proyecto INDECI-PNUD PER 02/051 – CIUDADES SOSTENIBLES se desarrolla el presente estudio denominado: **MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO.**

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los objetivos principales son los siguientes:

- Conocimiento de las características, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, e hidrológicas del área de estudio que comprende la ciudad de Ollantaytambo (área urbana y de expansión urbana); así como las características, geológicas-geodinámicas, hidrológicas de la quebrada Patacancha y del río Vilcanota, así también las características geotécnicas de los suelos de la ciudad de Ollantaytambo.
- Determinación de un documento técnico para el área de estudio, en donde se presenta como resultado final, el mapa de peligros de la ciudad de Ollantaytambo asociado a la ocurrencia de diversos eventos naturales; fundamentalmente de origen geológico-climático, geotécnico y climático.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La determinación del mapa de peligros de la ciudad de Ollantaytambo, que comprende también la quebrada Patacancha y el río Vilcanota, ha sido desarrollada mediante las siguientes etapas:

- Recopilación de información
- Investigaciones de campo
- Ensayos de laboratorio
- Labores de gabinete

La recopilación de información básica referida a planos topográficos, estudios de geología, geotecnia, mecánica de suelos, hidrología y otros, de la ciudad de Ollantaytambo y alrededores, se ha desarrollado, primero, mediante una recopilación de información existente procedente de varias instituciones la que ha sido utilizada por los especialistas. Esta etapa también comprendió aquella específica que ha sido obtenida durante el desarrollo del presente estudio y que comprende básicamente los aspectos geológicos, geotécnicos e hidrológicos destinados a determinar los fenómenos de origen variado, que causan peligros físicos o amenazas para la ciudad de Ollantaytambo.

En la etapa de investigaciones de campo, se han colectado "in situ" toda la información de detalle referidas a geología, geodinámica, geotecnia e hidrología del área de interés con el objetivo de conocer las características propias del área mediante las investigaciones de detalle programadas para tal efecto en el presente estudio.

En la etapa de ensayos de laboratorio, las muestras de investigación fueron tomadas en zonas previamente coordinadas con los especialistas y de acuerdo a un programa de investigaciones de campo previamente establecido, lo que ha permitido obtener información precisa de las diversas características requeridas y en especial de los suelos de cimentación involucrados en el área de estudio, de manera que se obtuvo toda la información del caso para calificar y cuantificar los fenómenos de origen geológico-climático, geotécnico y climático.

En la etapa de labores de gabinete se han realizado las interpretaciones sobre la base de los resultados obtenidos en las etapas anteriores de geología, geodinámica, geomorfología, geotecnia e hidrología, para finalmente definir los mapas de peligros de origen geológico-climático, y climático; resultados que han sido materializados en los mapas respectivos.

1.4. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio tiene la siguiente ubicación política:

Ciudad : Ollantaytambo
Distrito : Ollantaytambo
Provincia : Urubamba
Departamento : Cusco

Presenta la siguiente ubicación:

Coordenada UTM Norte : De 8'547,000 a 8'531,000 m. Coordenada UTM Este : De 794,000 a 806,000 m.

Altitud : Para la ciudad de Ollantaytambo se tiene una media de 2830 m.s.n.m. Sin embargo las cumbres de la quebrada Patacancha donde nacen las quebradas del mismo nombre pasan los 5000 m.s.n.m.

El área de estudio abarca la quebrada Patacancha, la zona urbana de Ollantaytambo y alrededores, considerados como probable zona de expansión urbanística de la ciudad de Ollantaytambo.

La ubicación del área de estudio se presenta en el MAPA Nº 01.

1.5. ACCESO Y VIAS DE COMUNICACIÓN

El acceso a la ciudad de Ollantaytambo se realiza mediante la carretera principal asfaltada Cusco-Pisac-Calca-Urubamba-Ollantaytambo; con un recorrido aproximado de 85 Km y un tiempo aproximado de viaje en camioneta de una hora 30 minutos. También se puede acceder, mediante la carretera principal asfaltada Cusco-Chinchero-Urubamba; con un recorrido aproximado de 80 Km y un tiempo de viaje de 1 hora y 15 minutos.

El acceso a los diferentes barrios, urbanizaciones, asociaciones, áreas de expansión urbana, etc, que conforman la ciudad de Ollantaytambo y alrededores, es mediante calles, avenidas, vías asfaltadas y caminos de herraduras. Hacia la quebrada Patacancha el acceso se realiza mediante la carretera secundaria sin asfaltado que se inicia en la ciudad de Ollantaytambo hacia las comunidades ubicadas al Norte y Noreste.

1.6. CONDICIONES CLIMÁTICAS

El área de estudio está marcado por dos estaciones: una de estiaje entre los meses de Mayo y Noviembre, y otra pluviosa entre los meses de Diciembre a Abril.

Según la clasificación de Pulgar Vidal (1987), la ciudad de Ollantaytambo y alrededores pertenecen principalmente a la región Quechua y las partes altas a la región Suni y Puna.

En la región Quechua (2300 y 3500 m.s.n.m.), el clima dominante es templado, con notable diferencia de temperatura entre el día y la noche. La temperatura media anual fluctúa entre 11 y 16 °C; las máximas entre 22 y 29 °C y las mínimas entre 7 y -4 °C durante el invierno, es decir, de Mayo a Agosto. Las lluvias caen con regularidad durante el verano (Diciembre a Marzo). La vegetación típica esta conformada por: aliso, maíz, calabaza, caigua, tomate, papaya de olor, trigo, árboles frutales, ciruelo, almendro, peral, manzano, membrillo, durazno, etc.

En la región Suni (3500 y 4000 m.s.n.m.), el clima es seco y frío. La temperatura media anual fluctúa entre 7 y 10 °C, con máximas superiores a 20 °C y mínimas invernales de -1 a -6 °C (Mayo-Agosto). La precipitación promedio es de 800 mm por año. La vegetación está compuesta por plantas silvestres, como el quinual, quishuar, sauco, cantuta, motuy, carhuacasha, wiñayhuayna, suni, la papa, año, quinua, cañihua, achis, tarwi, haba, oca y olluco.

En la región Puna (4000 y 4800 m.s.n.m.), el clima es frígido, con una temperatura media anual superior a 0 °C e inferior a 7 °C. La precipitación fluctúa entre 400 y 100 mm al año. La vegetación está compuesta de pajonales, ocsha, ichu, berro, totora, llacho, los bofedales, arbustos de culli, árboles como la titánica, junco y cunco. Los productos alimenticios son la papa, cebada, maca.

CAPITULO II

ETAPAS DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

2.1. GENERALIDADES

El estudio denominado "MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO", se ha desarrollado en cuatro grandes etapas, que se indican a continuación:

- Recopilación de información existente: Consistió en la recopilación de información contenida en estudios, antecedentes y/o similares, relacionada básicamente a geología, geotecnia, hidrología, mecánica de suelos y otros para un punto de investigación específico dentro del área de interés y sus alrededores más cercanos.
- Investigaciones de campo: Son aquellos trabajos que se desarrollaron en el área de interés con la finalidad de obtener información precisa "in situ" referida a aspectos geológicos, geomorfológicos, geodinámicos, geotécnicos e hidrológicos, que permitieron desarrollar los estudios básicos correspondientes.
- Ensayos de laboratorio: Son los trabajos que se han llevado a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos y que tiene como objetivo principal determinar las propiedades físicas y geomecánicas de los suelos encontrados en el área de interés.
- **Trabajos de gabinete:** Son aquellos trabajos que tomando como información base la recopilada en las fases de campo y laboratorio permitieron determinar los estudios básicos correspondientes y finalmente la preparación de los mapas de peligros.

2.2. ETAPA DE RECOPILACION DE INFORMACION EXISTENTE

Para el desarrollo de cada uno de los estudios básicos: Geología, geotecnia e hidrología se ha procedido a la recopilación de información existente de interés.

Para el estudio geológico se ha recopilado la información siguiente:

- Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca-Boletín Nº 65 Serie A: Carta Geológica Nacional - INGEMMET (Hojas 27r y 27s). Carlotto, V.; Gil, W.; Cárdenas, J.; Chávez, R. (1996).
- Geología, Estratigrafía y tectónica de la Región de Calca-Urubamba. Tesis Titulo Profesional UNSAAC. Chávez, R. (1995).
- Estudio geológico de la Zona Huambutio-Lamay. Tesis Titulo Profesional UNSAAC. Candia, F; Carlotto, C. (1985).

Para el desarrollo del Estudio Geotécnico se ha recopilado la información siguiente:

- Proyecto de investigación: Evaluación Física, Química y mecánica de los morteros inca, utilizado en los muros de la ciudadela de Ollantaytambo. UNSACC- FIC.

Para el desarrollo del estudio hidrológico se ha recopilado la información siguiente:

- Registros meteorológicos de SENAMHI referentes a precipitaciones.
- Datos hidrometeorológicos de la Estación de Perayoc de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, que cuenta con pluviómetro y pluviógrafo, instrumentos de termometría, instrumentos de medición de velocidad de viento y otros. Los registros pluviométricos son de mucha confiabilidad. En este caso se han utilizado datos de tormentas máximas anuales desde el año 1965 al año 1999, los mismos que han sido regionalizados para la zona en estudio.
- Información cartográfica que comprende:

La Carta Nacional desarrollada por el Instituto Geográfico Nacional.

Planos de Escala 1: 10,000 y 1:25,000 del Ministerio de Agricultura.

Mapas digitalizados Perú Map.

Catastro de la ciudad del Municipio Distrital.

2.3. ETAPA DE INVESTIGACIONES DE CAMPO

En los estudios, geológico, geodinámico, geotecnia, e hidrología, se ha desarrollado las siguientes investigaciones de campo:

En el estudio geológico se han tomado en cuenta las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la litología, estructuras, geomorfología y fenómenos de origen climático y geológico-climático de mayor ocurrencia en la zona urbana, alrededores y quebrada Patacancha.
- Levantamiento geológico-geodinámico de la quebrada Patacancha y la zona urbana de Ollantaytambo y alrededores considerando las zonas de expansión urbana a escalas 1:10,000 y 1:25,000.

En el estudio geotécnico se han desarrollado las siguientes actividades:

- Se realizaron las técnicas de investigación de calicatas o pozos a cielo abierto ó trinchera (C), según indica la norma técnica ASTM D420.
- Asimismo se realizaron ensayos de penetración dinámica con el cono de Peck (PDC).

Un trabajo de fundamental importancia en las investigaciones de campo para elaborar el estudio geotécnico es la determinación del perfil estratigráfico del subsuelo de cimentación en base a ensayos visuales según la norma ASTM D-2487 y clasificación de suelos SUCS según la norma ASTM D 2487 basados en ensayos de laboratorio; asimismo, identificar cualitativa y cuantitativamente mediante ensayos de campo (ensayo de penetración dinámica con el cono de Peck – PDC) las propiedades geomecánicas del subsuelo.

Los estudios geotécnicos se han realizado mediante 07 puntos de investigación ubicados en áreas urbanas y zonas de expansión. Se trata de 7 calicatas a cielo abierto y 7 Auscultaciones dinámicas con el cono de Peck (PDC) ubicada al costado de las calicatas. Estas calicatas y auscultaciones de investigación, de 3.0 metros de profundidad a más, se realizaron para determinar los estratos por tipos de suelos y capacidad portante. Estos trabajos han tenido un sustento geológico en la ubicación de las calicatas con el fin de tener más confiabilidad de la información presentada.

Para cada una de las "calicatas" aperturadas en el área de interés, se han realizado los ensayos de campo que a continuación se detallan:

- Descripción y clasificación visual del perfil estratigráfico de los suelos en campo según Norma ASTM D 2487

Destinado a conocer las características de los diferentes estratos del subsuelo de cimentación hasta una profundidad igual a la "calicata" aperturada y que se refieren básicamente a propiedades de acuerdo al tipo de suelo, como en el caso de suelos granulares (gravas y arenas) la determinación del tamaño de las partículas, angularidad, gradación, contenido de finos y densidad relativa; en el caso de suelos finos (limos y arcillas) la plasticidad, consistencia, resistencia en estados seco, color, olor, etc. Los resultados han sido contrastados con la clasificación unificada de suelos SUCS según la norma ASTM D 2487, los cuales están basados en los ensayos de clasificación realizados en laboratorio.

- Muestreo de suelos en "calicatas" aperturadas según Norma ASTM D 420

En las "calicatas" aperturadas, se ha efectuado la toma de muestras de los estratos que conforman el suelo de cimentación y rocas acorde a las recomendaciones de la Norma E.-050 RNC. Se extrajeron muestras alteradas tipo Mab, por ser los suelos de estructura básicamente friccionantes (grava). No se extrajeron muestras inalteradas tipo Mib, ya que labrarlas resulta prácticamente imposible

- Densidad natural "in situ" según norma ASTM D1556

Consiste en la ejecución de ensayos "in situ" utilizando el método del cono de arena, a partir de los cuales es posible conocer los valores de densidad y humedad natural para los diferentes estratos promedios del perfil estratigráfico.

- Ensayos de penetración dinámica liviana con el cono de Peck según norma DIN 4094

Consiste en la auscultación del subsuelo mediante la penetración dinámica de un cono tipo Peck y mediante correlaciones de los resultados con el ensayo SPT, se obtienen las propiedades resistentes y de compresibilidad del subsuelo, necesarias para determinar su capacidad admisible en diferentes niveles requeridos.

Las investigaciones de campo se han desarrollado en época de secas entre los meses de septiembre a octubre del 2004 y han consistido básicamente en efectuar un reconocimiento de campo en el área que comprende la ciudad de Ollantaytambo y zonas de expansión.

Este trabajo de campo también ha tomado en cuenta toda la información antecedente referida básicamente a aspectos geológicos y geotécnicos y viene a ser una complementación y extensión al detalle de la geología superficial local del área de interés.

En el Estudio Hidrológico se han desarrollado las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la cuenca hidrográfica en estudio.
- Reconocimiento del cauce principal y de sus afluentes más importantes.
- Reconocimiento de lagunas existentes.
- Determinación de secciones transversales y marcas correspondientes a niveles de agua alcanzados por los ríos.
- Caracterización de la cobertura vegetal existente.

2.4. ETAPA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Esta fase se desarrolla para las muestras extraídas en los puntos de investigación y/o puntos de muestreo de la fase de investigaciones de campo; y está destinada a conocer las propiedades índices y geomecánicas de las muestras alteradas tipo Mab mediante la ejecución de ensayos de laboratorio normalizados que se indican a continuación:

Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D 422
Límite liquido	ASTM D 423
Límite plástico	ASTM D 424
Contenido de Humedad	ASTM D 2216
Clasificación de suelos (SUCS)	ASTM D 2487

Los ensayos estándar de laboratorio se han efectuado para cada una de las muestras alteradas recogidas en las "calicatas" aperturadas, por la empresa M y M Consultores y Ejecutores S.R.L. en la ciudad de Cusco.

2.5. ETAPA DE GABINETE

Esta etapa se desarrolla después de haber culminado las etapas de recopilación de información, investigaciones de campo y de ensayos de laboratorio. La etapa de gabinete analiza minuciosamente los resultados de las etapas anteriores, con la finalidad de garantizar la bondad y calidad de la información obtenida de manera que permita definir resultados detallados referentes al área de estudio, tales como: geología superficial, geodinámica, geomorfología, clasificación de suelos, capacidad portante, geotécnico, e hidrológico; con el cual se procederá a determinar los fenómenos de origen geológico-climático, geotécnico y climático de mayor importancia en el área de estudio para luego definir el mapa de peligros de la ciudad de Ollantaytambo.

En los estudios geotécnicos, se ha realizado el análisis e interpretación de los resultados de campo y laboratorio donde determinó el perfil estratigráfico definitivo del subsuelo y se realizó el análisis geotécnico de cimentaciones de edificaciones, las cuales están basadas en el calculo de la capacidad portante o presión admisible del suelo de apoyo, la presencia del nivel freático y el análisis de licuación de suelos.

CAPITULO III

ESTUDIOS BASICOS

3.1. CARTOGRAFIA Y TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

La información cartográfica existente para el área de estudio ha sido colectada en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), y en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), con el siguiente detalle:

- Carta Nacional de los Cuadrángulos de Urubamba y Calca (hojas 27r y 27s) a escala 1:100,000.
- Fotografías aéreas de vuelo alto a escala aproximada 1:50,000.

La información topográfica existente para el área de estudio se detalla a continuación:

- Planos catastrales a escala 1:10,000 realizados por Irina Montero y Boris Canales el año 2001.
- Plano catastral proporcionado por el INC.
- Mapas topográficos a escala 1:10,000 efectuados por el PETT-Proyecto Vilcanota (Ministerio de Agricultura). Estos mapas han sido utilizados en las zonas de interés donde no se tiene información catastral previa, como es el caso específico de las áreas de expansión y del río Vilcanota.
- Mapas topográficos a escala 1:25,000, ejecutados por el PETT-Ministerio de Agricultura. Estos mapas han sido utilizados para el estudio geológico-geodinámico de la quebrada Patacancha

3.2. GEOMORFOLOGIA

3.2.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Regionalmente la ciudad de Ollantaytambo y alrededores se localiza en el borde Sur-oeste de la Cordillera Oriental. El río Vilcanota corta la Cordillera Oriental desarrollando un relieve importante.

3.2.1.1. CORDILLERA ORIENTAL

Ollantaytambo se localiza en el límite Altiplanicies-Cordillera Oriental, sin embargo, las montañas y nevados al Norte y Noreste de la ciudad se localizan en plena Cordillera Oriental. En efecto, los nevados de Halancoma (5450 m.s.n.m.) y Pumahuanca (5330 m.s.n.m.) forman las crestas más altas de la región. Las aguas del flanco Este del nevado Halancoma llegan a la quebrada Yuracmayo y esta a su vez llega a la quebrada principal Patacancha. Los deshielos del nevado Pumahuanca, no llegan directamente a la quebrada Patacancha, sin embargo todas las aguas subterráneas y pluviales se canalizan en la quebrada Patacancha, que en su desembocadura forma el cono aluvial donde se halla la ciudad de Ollantaytambo. Este cono aluvial se ha formado por diferentes aluviones, seguramente en relación al retroceso de los glaciares, cambios climáticos y sismos.

Las rocas que afloran en la Cordillera Oriental, es decir en la margen derecha del río Vilcanota, son principalmente metamórficas del Paleozoico inferior y rocas vulcano-

sedimentarias del Grupo Mitu de edad Permo-Triásica; en la margen izquierda afloran esencialmente rocas sedimentarias de edad Meso-Cenozoicas, y depósitos cuaternarios en ambas márgenes del río Vilcanota.

3.2.1.2. VALLE DEL URUBAMBA-VILCANOTA

Es considerado como un valle interandino que tiene una dirección preferencial SEE a NOO. El valle en la zona de estudio se halla a una altitud de 2800 a 2790 m.s.n.m. Las vertientes son moderadamente suaves a empinadas. Las márgenes del río Vilcanota se encuentran en parte encauzadas por muros incas, protegiendo estas áreas al peligro de inundación.

La quebrada Patacancha forma un cono aluvial antiguo que desemboca en el río Vilcanota en su margen derecha. Es aquí donde se emplaza la ciudad de Ollantaytambo.

3.2.2. GEOMORFOLOGIA LOCAL

La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad geomorfológica denominada Cordillera Oriental y localmente se reconocen varias unidades de menor categoría.

La ciudad de Ollantaytambo se encuentra mayormente sobre depósitos aluviales y depósitos fluviales. El piso de valle Patacancha esta compuesto por depósitos fluviales desarrollados sobre depósitos aluviales antiguos.

La ciudad de Ollantaytambo y el piso de valle Patacancha está cortado por el río Patacancha, donde los procesos erosivos se acentúan por el afloramiento de depósitos sedimentarios recientes.

Las laderas de los cerros están conformadas principalmente por depósitos coluviales o por afloramientos de rocas sedimentarias o metamórficas en muchos casos muy fracturadas que por las pendientes muy empinadas y otros factores forman conos de deyección.

En la ciudad de Ollantaytambo y áreas circundantes, se pueden diferenciar las unidades geomorfológicas de laderas y quebradas-ríos.

3.2.2.1. UNIDAD DE LADERAS

1. LADERAS DE PENDIENTE SUAVE

a) Cono aluvial Patacancha

Esta sub-unidad comprende toda el área del cono aluvial Patacancha, que se debe a la construcción de varios aluviones procedentes de la quebrada Patacancha, y está conformado por bloques y gravas en una matriz limo-areno-arcillosa. Es de amplia extensión y baja inclinación, donde se asienta la ciudad de Ollantaytambo y la mayoría de nuevas expansiones urbanas. Es importante también mencionar que gran parte de la ciudad actual de Ollantaytambo se encuentra sobre cimientos incas (Margen izquierda del río Patacancha), mientras que en la margen derecha y parte baja de la ciudad se encuentran recintos y andenería inca.

Se extiende desde la cota aproximada de 2800 m.s.n.m. que corresponde al límite con el río Vilcanota, hasta las partes bajas de las laderas de los cerros que circundan a la ciudad, predominantemente hacia el Norte, hasta la cota promedio de 2900 m.s.n.m. Desde el punto de vista urbanístico, esta sub-unidad geomorfológica es importante porque debido a sus grandes extensiones y suelos relativamente resistentes ha permitido el crecimiento de la ciudad de Ollantaytambo.

b) Piso de valle de la quebrada Patacancha

El río Patacancha es un afluente del río Vilcanota en su margen derecha. En la desembocadura de esta quebrada, sobre depósitos de conos aluviales se emplaza parte de la ciudad inca y actual de Ollantaytambo.

A esta sub-unidad corresponde la llanura aluvial y fluvial (piso de valle) de la quebrada Patacancha, donde se ubican la parte baja de deslizamientos y conos aluviales situados perpendicularmente a la quebrada principal. Sobre el piso de valle y muy especialmente sobre los pequeños conos aluviales y en las riberas del río Patacancha se sitúan muchos asentamientos humanos, terrenos de cultivos, y humedales entre los principales usos del suelo. Los materiales de este cono, proceden de la parte alta de las quebradas, donde afloran principalmente rocas de edad paleozoica, pertenecientes a las formaciones Ollantaytambo, San José, Sandia, y el Grupo Mitu.

2. LADERAS DE PENDIENTE PRONUNCIADA

Esta sub-unidad se extiende desde la cota promedio mayor a 2900 m.s.n.m. hasta las cumbres de los cerros que rodean la ciudad y la quebrada Patacancha.

El relieve de esta sub-unidad es bastante empinada, sobre todo la ubicada al Norte y Oeste de la ciudad, sin embargo en estas laderas se tienen restos arqueológicos incas donde se aprecian principalmente andenes y restos de construcciones pertenecientes al Conjunto Arqueológico de Ollantaytambo. En estas laderas afloran rocas metamórficas esquistosas y fracturadas y por sus taludes muy abruptos se forman conos de deyección conformado por bloques y gravas de rocas muy inestables.

Las laderas de esta sub-unidad, no son convenientes para asentamientos urbanos por los peligros que presentan y además en algunos casos por ser zonas arqueológicas intangibles.

A esta unidad también corresponden las laderas de la quebrada Patacancha, donde se han reconocido varios deslizamientos, asentamientos humanos así como terrenos de cultivo y áreas de pastaje. En las laderas afloran rocas metamórficas muy fracturadas con formación de conos de deyección y a veces con formación de depósitos coluviales.

3.2.2.2. UNIDAD DE QUEBRADAS Y RIOS

1. QUEBRADA PATACANCHA

Esta quebrada tiene una longitud aproximada de 24 Km. y una pendiente promedio aproximada de 6.6 %. Se inicia por la confluencia de dos quebradas principales Patacancha y Yuracmayo. La quebrada Patacancha nace a los 5000 m.s.n.m. donde se presentan lagunas, mientras que la quebrada Yuracmayo nace en el nevado Halancoma a 5450m.s.n.m. En su

recorrido se pueden reconocer los sitios denominados Murispampa, Pallata, Huilloc, Patacancha y Ocororuyoc.

A lo largo de la quebrada Patacancha, se han observado numerosos problemas geodinámicos como: deslizamientos antiguos y recientes, cárcavas, conos aluviales, derrumbes y erosión local de sus márgenes.

2. VALLE URUBAMBA-VILCANOTA

El río Vilcanota es el colector principal de la gran cuenca hidrográfica del mismo nombre. Forma el valle del Urubamba con piso de valle no muy amplio y laderas empinadas donde se observan algunos derrumbes. Las márgenes del río se encuentran en gran parte encauzadas por muros de contención inca.

3.3. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

Se describen a continuación las diferentes formaciones geológicas existentes en la localidad de Ollantaytambo así como la quebrada Patacancha y alrededores, tipificando sus características litológicas y estructurales.

3.3.1. ESTRATIGRAFIA

En la zona de estudio afloran unidades litológicas, que van desde el Paleozoico inferior hasta el Cuaternario y se distribuyen tal como se presenta en el MAPA Nº 02 (GEOLOGICO), de acuerdo a la descripción siguiente:

3.3.1.1. FORMACION OLLANTAYTAMBO (C-o)

La Formación Ollantaytambo (Marocco, 1978; Carlotto et al., 1996 y 2004) define una serie de rocas metamórficas que atribuyen al Cámbrico-Ordovícico por la presencia de fósiles.

Esta unidad aflora al pie de las ruinas incas de Ollantaytambo y se extiende hacia el Noroeste hasta cerca del Abra Málaga. Lateralmente se sigue al Este, hasta proximidades del valle del río Patacancha, al Oeste hasta el Nevado Bonanta. Está constituida por brechas, conglomerados, areniscas cuarcíticas, lutitas verdes, bancos de cuarcitas, niveles cineríticos verdes, andesitas (ignimbritas) de color oscuro. Todas estas rocas se hallan afectadas por la esquistosidad eoherciniana. El espesor aflorante es de aproximadamente 1000 metros.

3.3.1.2. FORMACION VERONICA (O-v)

Esta unidad es reconocida al Noroeste de Pallata en la quebrada Yuracmayo, donde sobreyace en ligera discordancia a la Formación Ollantaytambo. Esta formación se extiende hacia el Nevado Verónica al Este de la zona de estudio.

La Formación Verónica está constituida por 480 metros de conglomerados, los que están compuestos casi exclusivamente por cantos de cuarcita bien redondeados, con matriz arenosa. También se intercalan con lutitas (pizarras) negras y cuarcitas blancas verdosas. Se le atribuye una edad Ordoviciana.

3.3.1.3. FORMACION SAN JOSE (Om-sj)

Sobreyace en aparente discordancia o por cabalgamiento a la Formación Verónica. En la zona de estudio aflora al Norte de Pallata y se extiende hacia el Este en la quebrada Patacancha.

La Formación San José se divide en 3 secuencias: La secuencia inferior (350 m), está conformada por cuarcitas finas, rojizas, verdes y grises, seguida por pizarras micáceas y esquistos de estaurolita, de color verde o negro, y se termina por cuarcitas grises intercaladas con pizarras. La secuencia intermedia (450 m) se compone de lutitas bandeadas, que pasan gradualmente a niveles de lutitas negras. Finalmente, afloran básicamente pizarras negras o filitas (400 m). Las secuencias inferior e intermedia, lateralmente se hacen más finas. Estas secuencias se hallan fuertemente plegadas, lo que explica un aparente espesor mayor de la formación. El origen de los sedimentos es marino poco profundo.

Por la presencia de graptolitos de diversas especies se le atribuye una edad Arenigiana a Llanvirniana (Ordovícico).

3.3.1.4. FORMACION SANDIA (Os-s)

Esta formación aflora en la parte alta de la quebrada Patacancha y se extiende hacia el Noroeste hasta cerca del Abra Málaga.

El paso de la Formación San José a la Formación Sandia, es en concordancia y aparentemente continuidad estratigráfica, siendo difícil determinar el contacto exacto, por lo que muchas veces solo se cartografía la parte superior cuarzosa de la unidad.

La Formación Sandia constituye un nivel guía en la cartografía, ya que su composición principalmente cuarcítica y espesor aproximado de 500 metros, permite diferenciarla de las otras unidades Paleozoicas. Pero sin embargo también se reconocen niveles de pizarras negras y esquistos con presencia de nódulos calcáreos.

Por su posición estratigráfica y presencia de fósiles característicos, se le considera dentro del Caradociano (Ordoviciano superior).

3.3.1.5. GRUPO COPACABANA (Pi-c)

El Grupo Copacabana (Newell et al, 1949) aflora al Este de la ciudad de Ollantaytambo en el cerro Esjomojo, en contacto de falla inversa con la Formación Maras y Grupo Mitu.

El Grupo Copacabana está compuesto principalmente por calizas y lutitas de origen marino. Las calizas son de varios tipos, de grano fino, oolíticas o nodulosas, de color gris blanquecino a negro. Estas rocas se caracterizan por presentar fósiles silicificados de fusulinas, braquiópodos, corales, etc. Las lutitas son negras y carbonosas, conteniendo restos de plantas.

En el Anticlinal de Vilcanota, este grupo tiene un espesor de 600 a 700 metros. A este grupo se le asigna una edad Pérmico inferior.

3.3.1.6. GRUPO MITU (PmTi-m)

El Grupo Mitu aflora en las partes altas al Este de la quebrada Patacancha en contacto fallado con la Formación Ollantaytambo.

Se trata de rocas volcánicas constituida por brechas, aglomerados y coladas de basaltos, riolitas e ignimbritas. Las rocas volcánicas, las tobas, lapilli y coladas de color rojo violeta, generalmente están descritas como andesitas, ignimbritas y basaltos.

El espesor de esta unidad, es variable, de 600 a 1000 metros. En cuanto a la edad del Grupo Mitu en el Perú, se le considera del Permiano medio al Triásico inferior.

Estas rocas, en general están muy fracturadas por lo que constituyen buenos acuíferos fisurados. Pueden ser utilizadas como materiales de construcción. Cuando están alteradas y muy fracturadas pueden desarrollar deslizamientos.

3.3.1.7. FORMACION HUAMBUTIO (JsKi-hm)

La Formación Huambutío sobreyace en discordancia erosional o débil discordancia angular al Grupo Mitu. Aflora al Sur de la ciudad de Ollantaytambo en la margen izquierda del río Vilcanota en los alrededores de la comunidad de Charccahuaylla (Muyomayo y Questa).

En esta zona, aparece una secuencia roja de areniscas finas y limolitas infrayaciendo en débil discordancia angular a la Formación Huancané y sobreyaciendo también en discordancia angular a la Formación Ollantaytambo (Paleozoico Inferior). Este miembro frecuentemente se halla incompleto por efectos erosivos.

La Formación Huambutío no ha proporcionado fósiles por lo que, Carlotto et al. (1991), realizó correlaciones de esta unidad con otras similares del Sur del Perú y de Bolivia asumiéndole una edad Kimmeridgiano-Berriasiano?

3.3.1.8. FORMACION HUANCANE (Ki-hn)

La Formación Huancané reposa en discordancia erosional o en débil discordancia angular sobre el Grupo Mitu. Esta formación aflora en las partes altas de la margen izquierda del río Vilcanota.

Está compuesta por conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas cuarzosas masivas con laminaciones oblicuas. La edad asignada indica la base del Cretácico (Neocomiano).

Las areniscas cuarzosas, por ser bastante porosas y permeables, son muy buenos acuíferos. Pueden ser utilizados como materiales de construcción. Un interés económico puede ser la explotación de los granos de cuarzo que son muy redondeados y homogéneos.

3.3.1.9. GRUPO YUNCAYPATA

El Grupo Yuncaypata aflora al Sur de la ciudad de Ollantaytambo, en las partes altas de la margen izquierda del río Vilcanota. Este grupo se divide en 4 formaciones: Paucarbamba, Maras, Ayavacas y Puquín.

Desde el punto de vista mecánico las rocas de este grupo son inestables, muy especialmente los yesos propensos a desarrollar deslizamientos.

1. FORMACIÓN PAUCARBAMBA (Ki-pb)

La Formación Paucarbamba, reposa concordantemente sobre la Formación Huancané y aflora en casi todos los lugares donde lo hace la Formación Huancané, del que se distingue claramente por su coloración rojiza.

Esta formación está constituida por una alternancia de areniscas calcáreas, margas, lutitas amarillas, rojizas y verdes, formando secuencias grano-estrato crecientes depositados en una plataforma litoral (Chávez, 1995). El espesor puede variar desde los 50 hasta los 200 metros. Se le asigna una edad comprendida entre el Aptiano superior-Albiano inferior (Cretácico medio).

2. FORMACIÓN MARAS (Ki-ma)

Sobreyace concordantemente a la Formación Paucarbamba. Los afloramientos se presentan de manera caótica, es decir una mezcla de yesos, lutitas rojas y verdes en menor proporción y escasamente calizas, producto de deformaciones diapíricas.

El espesor total de esta unidad, puede variar de 100 a 200 metros, aunque en algunos lugares pueden sobrepasa los 400 metros debido a efectos diapíricos y tectónicos. Se le asigna una edad Albiana media, en base a su posición estratigráfica y por correlaciones.

Desde el punto de vista de la mecánica de rocas y estabilidad de taludes, estas rocas son mediocres y propensas a desarrollar deslizamientos.

3. FORMACIÓN AYAVACAS (Kis-ay)

La Formación Ayavacas o Calizas Yuncaypata (Kalafatovich, 1957) afloran también de manera caótica.

Estas calizas se hallan frecuentemente dolomitizadas, sin embargo, se ha podido reconocer facies margosas gris oscuras, facies *mudstone* bioturbadas o no, facies *wackestone-packstone* más o menos bioclásticas y menos frecuentemente facies *grainstone* con oolitos de bioclastos o granos de cuarzo. Algunas facies aparecen con figuras de emersión (disolución), con aspecto de brechas y figuras de estructuras de tipo *slump*. Se le asigna una edad de intervalo Albiano superior-Turoniano (Carlotto, 1992; Carlotto et al, 1992).

3.3.1.10. CUATERNARIO

Una variedad de depósitos cuaternarios se presentan en la zona de estudio.

1. DEPÓSITOS GLACIARIOS (Q-g)

Los depósitos glaciarios (morrenas), se observan solo en los inicios de la quebrada Yuracmayo cerca del nevado Halancoma.

Las morrenas son depósitos compuestos de bloques en una matriz de gravas areno-arcillosa. Su comportamiento no es estable cuando se halla en zonas de pendiente abrupta y solo necesitan bastante agua o aludes para formar aluviones.

2. DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)

Dentro de estos depósitos se consideran los conos aluviales y de deyección. El principal y mayor cono aluvial de la zona de estudio es donde se emplaza la ciudad de Ollantaytambo y zonas aledañas.

Estos depósitos también se reconocen a lo largo de la quebrada Patacancha como pequeños conos aluviales transversales a la quebrada principal

Los conos aluviales, están conformados por bloques especialmente de rocas metamórficas, rocas volcánicas, conglomerados, etc., envueltos por una matriz areno-arcillosa. Generalmente tienen mala selección y estratificación y su permeabilidad es media a alta. Su comportamiento mecánico es aceptable a bueno.

3. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-f)

Estos depósitos se hallan sobre el cono aluvial mayor de Ollantaytambo, donde se emplazan principalmente terrenos de cultivo.

Estos depósitos también se han localizado en el piso de los valles Patacancha y Vilcanota, donde se ubican muchos asentamientos humanos, terrenos de cultivo, así como humedales.

Los depósitos fluviales están constituidos por bancos de gravas, arenas, y arcillas, a veces formando una o varias terrazas como es el caso del río Vilcanota.

4. DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-co)

Son depósitos originados por la descomposición in situ de las rocas y que además tienen algún movimiento por gravedad, ya que se han desarrollado en las pendientes. Se reconocen en las laderas de los cerros circundantes a la ciudad de Ollantaytambo así como en ambas laderas de la quebrada Patacancha.

Estos depósitos están compuestos de gravas en una matriz limo-arcillosa. Las gravas son principalmente de volcánicos, rocas sedimentarias y metamórficas.

Dentro de estos depósitos también se consideran los depósitos de deslizamientos que se observan en las laderas de la quebrada Patacancha, algunas muy inestables por efecto de erosión fluvial y corte de talud.

3.3.2. ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS (P-gr)

Al Norte de Ocororuyoc (Norte de la ciudad de Ollantaytambo) aflora el macizo de Vilcabamba, que esta compuesto por granitos y cuarzosienitas. En forma general intruye a los volcánicos del Grupo Mitu, formando una aureola débil de metamorfismo de contacto. Este intrusivo aporta sus materiales de erosión hacia la quebrada Patacancha (MAPA Nº 02).

Desde el punto de vista geomecánico los granitos se hallan fracturados y en parte intemperizados. Esto ha facilitado el trabajo de los glaciares generando morrenas.

3.3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Morfo-estructuralmente Ollantaytambo se halla al límite Altiplano-Cordillera Oriental que corresponde a una estructura fallada. Además, en la región una gran falla de dirección aproximada Norte-Sur delimita el Paleozoico inferior del Paleozoico superior. Se trata de una estructura muy antigua que pone en contacto a las formaciones Ollantaytambo y San José, por un lado, con el Grupo Mitu por otro lado. Esta falla va casi paralela a la quebrada Patacancha (MAPA Nº 2).

Hacia la parte Sureste de Ollantaytambo resalta el cuerpo diapírico de Maras compuesto por yesos y lutitas de la formación del mismo nombre. Este diapiro parece activo pues en borde Norte, es decir el que da al río Vilcanota desarrolla deslizamientos activos.

3.4. HIDROLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

3.4.1. UBICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La ciudad de Ollantaytambo, es la capital del distrito del mismo nombre y pertenece a la provincia de Urubamba. Se encuentra a 80 Km. de la ciudad del Cusco y a 15 Km. al Oeste de de la ciudad de Urubamba por la vía asfaltada.

Ollantaytambo se halla enclavado en el cañón del río Urubamba y a una altitud media de 2800 m.s.n.m. La ciudad ocupa el centro mismo de tres quebradas profundas: por el Norte la quebrada de Patacancha, por el este la quebrada del Urubamba y por el oeste la quebrada que lleva a Machu Picchu, formando parte del denominado Valle Sagrado de los Incas. Está comprendida entre las coordenadas 72° 15' y 72° 15' 30" longitud Oeste y entre las coordenadas 13° 15' 30" y 13° 16' latitud Sur.

La ciudad de Ollantaytambo tiene una gran importancia porque en ella se encuentran las ruinas incaicas del mismo nombre e incluso la propia ciudad forma parte de este complejo arqueológico. Ollantaytambo, originalmente conocida como Tampu, fue en la época incaica la ciudad fortificada y frontera del imperio. Su historia reviste una serie de tradiciones y hechos relacionados con la historia misma del Tahuantinsuyo. Hoy en día constituye uno de los principales centros turísticos de la región. Es por esta razón que en los últimos 20 años, ha experimentado un incremento de su volumen y densidad poblacional, debido al intenso flujo turístico, lo cual se aprecia por la construcción de hostales, alojamientos y restaurantes, así como nuevas viviendas, centros educativos, centros de abasto, etc.

Hacer un diagnóstico de los peligros naturales a las que esta expuesta la ciudad tiene en este caso doble propósito: primero proteger la integridad de los pobladores y segundo resguardar el valioso patrimonio histórico de la nación.

Las principales vías que enlazan Ollantaytambo con el resto del país son: la carretera asfaltada Cusco-Calca-Urubamba y la carretera asfaltada Cusco-Chinchero-Urubamba, que conforman el circuito denominado Valle Sagrado de los Incas. Una segunda vía es la línea férrea Cusco-Machu Picchu.

3.4.2. RÍO VILCANOTA

En este sector el río Vilcanota ya denominado río Urubamba incrementa apreciablemente su caudal. El cauce se va estrechando, y las profundidades se incrementan. Así se tiene anchos que van entre 35 y 45 m. Los caudales máximos asumidos son similares a los de Urubamba.

Caudales máximos del río Vilcanota en m³/seg para diferentes períodos de retorno

Método		Período de retorno (años)				
Metodo	10	25	50	100		
Gumbel	528.28	603.50	660.20	716.90		
Nash	380.96	464.55	526.97	589.25		
Lebediev	446.65	501.84	536.37	571.93		

El sector ubicado aguas arriba del puente en su margen izquierda es una faja expuesta a inundaciones y que alcanzan las viviendas de un asentamiento nuevo. En la margen derecha se tiene parcelas de maíz, que cuenta con muros de defensa que no están en buenas condiciones y que pueden fácilmente ser rebasados durante las crecidas máximas.

3.4.3. IDENTIFICACIÓN DE LA SUB - CUENCA.

Desde el punto de vista de la hidrología, se tiene que la ciudad de Ollantaytambo se encuentra enmarcada dentro de la cuenca del río Vilcanota, siendo parte de la sub-cuenca del río Patacancha que nace en las lagunas de Chalhuancacocha a 4600 msnm en cuyo largo recorrido (24.6 Km) recibe el aporte de 22 afluentes. Las aguas del río Patacancha drenan en el río Vilcanota, tal como se observa en el **MAPA Nº 03** (CUENCA HIDROLOGICA QUEBRADA PATACANCHA).

3.4.3.1. SUB CUENCA DEL RIO PATACANCHA

Esta sub-cuenca del Patacancha se extiende en una dirección Norte 42° Este, y abarca un área de **144.7** km², siendo su cauce principal el río Patacancha. La cuenca tiene una forma bastante alargada (factor de forma 0.36). La pendiente media de la cuenca es de 0.54. En la cabecera se encuentran las lagunas de Chalhuancacocha. El talweg es estrecho y sus áreas presentan una cobertura vegetal de poca densidad, consistente en especies nativas y pequeños arbustos.

La cuenca del río Patacancha de acuerdo a la clasificación del Dr. L.R. Holdrige, se encuentra comprendida entre los pisos altitudinales:

- Bosque Húmedo Montano Tropical (bh-MT).
- Páramo muy Húmedo Sub-Alpino Tropical (Pmh-sat).
- Páramo Pluvial Sub-Alpino Tropical (Pp-Sat)

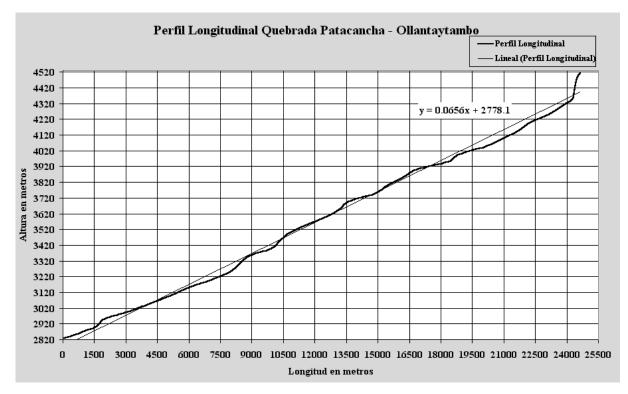
1. RIO PATACANCHA

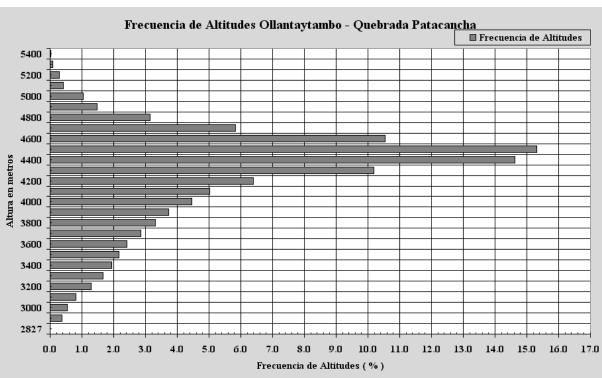
El río Patacancha es un tributario de segundo orden con una densidad de drenaje de 0.658. La pendiente media del cauce es de 6.6%. El caudal en estiaje es de 5.0 m³/seg (caudal base).

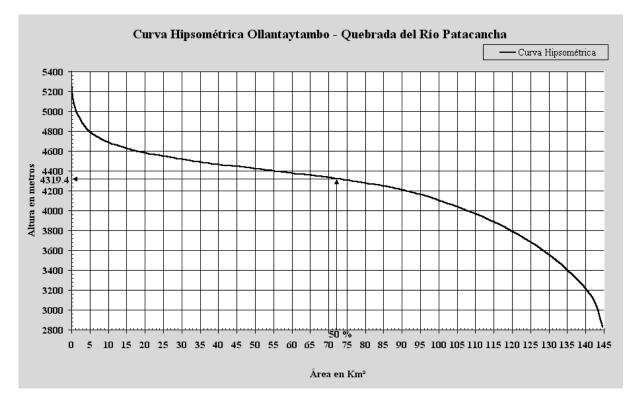
El caudal máximo estimado por el método directo es de 66 m³/seg. y el caudal teórico obtenido mediante el método de Mac Math (ajustado), para un período de retorno de 10 años

y una duración de 132 minutos es de 50.24 m³/seg, y para un período de retorno de 50 años y una duración de 132 minutos es de 67.61 m³/seg, en ambos casos considerando una distribución tipo Gumbel.

El río Patacancha en su tramo final atraviesa la ciudad de Ollantaytambo por un tramo encauzado con una sección de 5.5 x 3.80 m, y finalmente confluye en el río Vilcanota.







2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMORFOLÓGICAS – CUENCA DEL RIO PATACANCHA

Punto más alto de la cuenca : 5 367 m.s.n.m. Punto más bajo de la cuenca : 2 827 m.s.n.m. Área de la cuenca : 144.72 Km² Perímetro de la cuenca : 53 189.08 m. Punto más alto del cauce principal : 4 512.14 m.s.n.m. Punto más bajo del cauce principal : 2 827 m.s.n.m. Longitud de cauce principal : 24.65 Km. Longitud total de las corrientes : 95.19 Km. : 0.658 Km.⁻¹ Densidad de drenaje (D_d) Sumatoria de longitudes de curvas de nivel : 1 579.24 Km. Pendiente media de la cuenca : 0.5456 = 54.6 % Pendiente media del cauce principal : 0.0656 = 6.6 %

Índice de Gravelious : 1.24

Rectángulo Equivalente

 $\begin{array}{ll} L \ (lado \ mayor) & : 19.04 \ Km. \\ l \ (lado \ menor) & : 7.60 \ Km. \\ Longitud \ más \ larga \ de \ la \ cuenca \ L_l & : 20 \ 114.77 \ m. \\ \hline Festor \ de \ forma & : 0.36 \\ \end{array}$

Factor de forma : 0.36 Altitud media de la cuenca : 4 319.4 m.

3. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS - CUENCA DEL RIO PATACANCHA

Tiempo de concentración

Fórmula Kirpich : 131.93 minutos = 2.20 horas Fórmula Australiana : 376.08 minutos = 6.27 horas

PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

Periodo de retorno (asumido) : 10 y 50 años

Coeficiente de escorrentía (C) : 0.28

Longitud desde el punto de interés al

punto más cercano al C.G. : 13.42 Km. Distancia del C.G. al cauce : 1 616 m. Temperatura promedio : 15 °C

Cálculo del caudal por el Método Directo

Coeficiente de rugosidad de Manning (n) : 0.055 Área 1 (aguas abajo) A₁ $: 13.03 \text{ m}^2$ Perímetro mojado 1 (P₁) : 9.95 m. $: 17.03 \text{ m}^2$ Área 2 (aguas arriba) A₂ Perímetro mojado 2 (P₂) : 10.97 m. Área promedio (A) $: 15.03 \text{ m}^2$ Radio hidráulico 1 (R₁) : 1.31 m. Radio hidráulico 2 (R₂) : 1.55 m. Radio hidráulico promedio (R) : 1.43 m.

Pendiente media (S) : 3.62 % = 0.0362 m/m

Caudal Máximo (Q) : $65.99 \text{ m}^3/\text{seg}$

4. CÁLCULO DEL GASTO Y ANÁLISIS DEL RÉGIMEN FLUVIAL

El gasto se ha determinado usando el software del Centro Guamán Poma de Ayala, y se trata de un modelo hidrológico determinístico, cuyos datos de entrada son: El área de la cuenca, longitud del cauce, pendiente de la cuenca, pendiente del cauce, cota del punto más alto y más bajo, cota del punto de interés, cota de la altura media, cota de la estación base, longitud del cauce desde el punto más cercano al centroide hasta el punto de interés, distancia al centro de gravedad, temperatura promedio, tiempo de concentración, rango de intensidad, coeficiente de escorrentía y tormentas máximas anuales. Los datos se muestran en el **Anexo Nº 01**.

El software genera la siguiente información:

- 1° Distribución ponderada de intensidades anuales.
- 2° Proyección probabilística de intensidades para las distribuciones: normal, de Gumbel, Pearson, Log-Normal y Log-Pearson tipo III.
- 3° Generación de caudales por los métodos de:
 - Mac Math (distribución: Gumbel, Normal, Pearson, Log-normal de dos parámetros).
 - Método Racional (distribución: Gumbel, Normal, Pearson, Log-normal de dos parámetros).
 - Método de Heras (distribución: Gumbel, Normal, Pearson, Log-normal de dos parámetros).
 - Método del hidrograma triangular (distribución: Gumbel, Normal, Pearson, Lognormal de dos parámetros).
- 4° Hidrogramas de crecidas para las distribuciones de: Gumbel, Normal, Pearson, Log-Normal y Log-Pearson.

Caudales Máximos (en m³/seg), generados mediante software para períodos de retorno de 10 años, y para una duración D = 132 minutos

Método y	Método de	Fórmula	Método de	Hidrograma
Distribución	Mac Math	Racional	Heras	triangular
Gumbel	50.24	116.86	105.18	374.72
Normal	49.92	116.14	104.53	371.96
Pearson	50.49	117.44	105.69	376.96
Log-Normal	52.88	123.01	110.71	398.40
Log-Pearson Tipo III	51.32	119.38	107.44	384.34

Caudales Máximos (en m³/seg), generados mediante software para períodos de retorno de 50 años, y para una duración D = 132 minutos

Método y	Método de	Fórmula	Método de	Hidrograma
Distribución	Mac Math	Racional	Heras	triangular
Gumbel	67.61	157.27	141.54	529.76
Normal	60.35	140.39	126.35	465.14
Pearson	64.06	149.02	134.11	498.22
Log-Normal	74.72	173.80	156.42	592.82
Log-Pearson Tipo III	65.98	153.49	138.14	515.29

Los gastos también fueron determinados usando el método directo de campo, para cuyo fin se ha efectuado el levantamiento topográfico de un tramo de río, observando los supuestos niveles máximos que el río puede alcanzar en épocas de crecida. Luego se toman dos secciones transversales al inicio y final del tramo para determinar sus áreas y radios hidráulicos correspondientes. En el caso del río Patacancha se ha obtenido un gasto de 50.24 m³/seg, dato que es importante para contrastar con las avenidas teóricas calculas mediante los diversos métodos y diferentes períodos de retorno, efectuados usando el software.

En cuanto al régimen fluvial se trata de un río de montaña que presenta un régimen torrencial con saltos y quiebres, intercalado por algunos tramos suaves, y con un cauce totalmente irregular.

5. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para el presente estudio se ha utilizado información hidrometeorológica de la Estación de Perayoc, que pertenece a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Esta estación cuenta con pluviómetro y pluviógrafo además de otros instrumentos de termometría, evaporímetros, higrómetro y otros propios de una estación hidrometeorológica. Los registros pluviométricos son de mucha confiabilidad. En este caso se han utilizado datos de tormentas máximas anuales desde el año 1965 al año 1999, los mismos que han sido regionalizados para la zona en estudio.

6. ZONAS DE PELIGRO DE DESBORDAMIENTO

De acuerdo a las estimaciones de caudales máximos una eventual ocurrencia de los mismos pueden ocasionar desbordamientos y consiguientes inundaciones en áreas adyacentes del tramo canalizado que atraviesa la ciudad (sección media rectangular de 5.5 x 3.8 m), y no

PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

obstante no existir antecedentes recientes de hechos de esta naturaleza, sin embargo ello no garantiza que el nivel máximo de aguas sobrepase la sección del canal y que pueda afectar algunos sectores de la ciudad.

El tamaño considerable de esta cuenca (144.7 Km²) nos da una idea de la magnitud de las avenidas que pueden ocurrir y no obstante tener canalizados los tramos de río que atraviesan la ciudad, el peligro es latente. Por ello ya en tiempo de los Incas se levantaron defensas ribereñas para proteger los sembríos y a la población civil. En este caso el tamaño considerable de la cuenca puede concentrar un volumen de escorrentía que supere fácilmente la capacidad de la canalización, pues considerando una velocidad de 3 m/seg y el caudal máximo de 66 m³/seg, requeriría un área de 22 m², el mismo que sería mayor que la sección del canal existente.

En conclusión los peligros existentes pueden ser en primer lugar debido al volumen líquido que podría concentrarse debido al tamaño considerable de la cuenca y segundo lugar por un eventual desbordamiento de las lagunas existentes en las nacientes del río.

Para tranquilidad de los moradores de esta zona el cauce del río presenta características más estables, este hecho se manifiesta en poco volumen de material aluvial que el río va acumulando aguas abajo antes de su confluencia con el Vilcanota.

De las estimaciones de avenidas máximas que pueden ocurrir, sólo las lluvias con períodos de retorno de 50 años pueden tener incidencia y ocasionar algunas inundaciones, estas tendrían lugar en los tramos próximos al río Vilcanota, y que podrían afectar algunas parcelas. En cuanto a la seguridad de los sitios arqueológicos que forman parte del complejo Ollantaytambo, esta se vería afectada sólo en caso de producirse avenidas centenarias. En este caso nos referimos a recintos conocidos como el Baño del Inca y otros adyacentes.

7. EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A lo largo del cauce se aprecia diferentes tipos de comportamiento en cuanto al transporte de sedimentos. Así en la parte alta de la cuenca, el transporte de sedimentos está constituido por material grueso desde 1 pulgada hasta 0.40 metros de diámetro medio.

En el tramo de río inmediatamente aguas abajo se aprecia material grueso (aprox. 2 pulgadas de diámetro medio) y muy poca erosión.

El tramo canalizado de la ciudad también acusa la presencia de piedras con tamaños máximos de 50 cm.

8. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA CUENCA

Densidad de drenaje (D_d)

$$D_{d} = \frac{L}{A}$$

$$D_{d} = \frac{21.69}{45.94}$$

$$D_{d} = 0.472 \text{ Km}^{-1}$$

Pendiente Media de la Cuenca (Sc)

$$S_{c} = \frac{D(\sum l_{i})}{A}$$

$$S_{c} = \frac{0.05 \times 612.70}{45.94}$$

$$S_{c} = 0.667$$

Índice de Gravelious (K)

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{32.46}{\sqrt{45.94}}$$
$$K = 1.341$$

Factor de Forma de la Cuenca (F)

$$F = \frac{A}{L_1^2}$$

$$F = \frac{45.94}{11.50^2}$$

$$F = 0.347$$

Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{11510^3}{4580 - 2940} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 55.30 \text{ min.}$$

Fórmula Australiana

$$T_c = \frac{58L}{A^{0.1}S^{0.2}}$$

$$T_c = \frac{58 \times 11.51}{45.94^{0.1}140^{0.2}}$$

$$T_c = 169.46 \text{ min}$$

Cálculo del Rectángulo Equivalente

Para el cálculo del lado mayor se tiene:

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

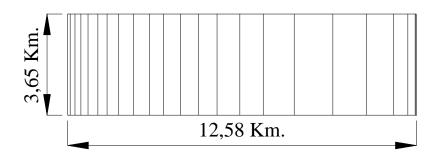
$$L = \frac{1.341\sqrt{45.94}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.341}\right)^2} \right)$$

$$L = 12.58 \ Km$$
.

Cálculo del lado menor:

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right)$$
$$l = \frac{1.341\sqrt{45.94}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.341}\right)^2} \right)$$

$$l = 3.65$$
 Km.



3.5. GEOTECNIA DEL AREA DE ESTUDIO

3.5.1. EXPLORACION DE CAMPO

Las exploraciones de campo que se realizaron en la ciudad de Ollantaytambo fue en época de secas, septiembre a octubre del 2004.

3.5.1.1. TECNICAS DE INVESTIGACION DE CAMPO

La técnica de investigación utilizada fue la de calicatas o pozos a cielo abierto ó trinchera (C), según indica la norma técnica ASTM D-420.

Asimismo se realizaron auscultaciones dinámicas livianas con el cono de Peck (PDC).

3.5.1.2. NÚMERO DE PUNTOS INVESTIGADOS

El número de puntos investigados en áreas urbanas y zonas de expansión y para el análisis de estabilidad de taludes son: 7 calicatas a cielo abierto y 7 auscultaciones dinámicas con el cono de Peck (PDC) que fueron ubicadas al costado de las calicatas. Las siete (07) calicatas y auscultaciones se realizaron para determinar los mapas de tipos de suelos y capacidad portante.

La denominación, ubicación de dichos puntos se presentan en el siguiente cuadro:

DENOMI	DENOMINACION		COORDENADACTIEM		LIDICA CIÓN
CALICATA	AUSCULT.	COORDENADAS UTM		(m)	UBICACIÓN
C -01	PDC - 01	18795130 E	8532788 N	2,797.00	Lomadas
C - 02	PDC - 02	18795972 E	8532626 N	2,814.00	San Isidro
C - 03	PDC - 03	18795901 E	8532135 N	2,834.00	Choq'epata (Estación)
C - 04	PDC - 04	18796561 E	8532334 N	2,844.00	Pillcohuasi
C - 05	PDC - 05	18796995 E	8532099 N	2,800.00	Huayronccoyoc pampa
C - 06	PDC - 06	18797501 E	8532423 N	2,808.00	Mascabamba
C - 07	PDC - 07	18796821 E	8533607 N	2,890.00	Bandolista
					(carretera Ollantaytambo-Occobamba)

3.5.1.3. PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION

La profundidad explorada de las calicatas a cielo abierto a partir del nivel actual del terreno, fueron de 3.00 metros como se puede observar en los gráficos de perfiles estratigráficos que se presentan.

3.5.1.4. TIPO DE MUESTRAS EXTRAIDAS

De las calicatas exploradas de acuerdo a la estratigrafía y al tipo de suelo encontrado se extrajeron 7 muestras alteradas tipo Mab (Ver norma E-050 RNC) para la realización de los diferentes ensayos de laboratorio.

No se extrajeron muestras inalteradas tipo Mib, por tratarse de suelos friccionantes (gravas), ya que labrarlas resulta prácticamente imposible.

En el cuadro siguiente se presentan un resumen de la nomenclatura, tipo y profundidad de las muestras extraídas de cada calicata.

CALICATA	TIPO DE MUESTRA	NOMENCLATURA	PROFUNDIDAD (m)
C – 01	Mab	Mab - 01 - 01	1.60 a 2.00
C – 02	Mab	Mab – 02 - 01	1.70 a 3.00
C – 03	Mab	Mab – 03 - 01	0.60 a 2.50
C – 04	Mab	Mab – 04 - 01	2.00 a 3.00
C – 05	Mab	Mab – 05 - 01	1.00 a 2.50
C – 06	Mab	Mab – 06 - 01	1.00 a 3.00
C – 07	Mab	Mab – 07 - 01	1.00 a 3.00

Mab: muestra alterada en bolsa.

3.5.2. ENSAYOS IN-SITU

En las calicatas se realizaron ensayos de densidad de campo (por el método del cono de arena) con el objeto de determinar propiedades volumétricas necesarias para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo. Este ensayo se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D1556.

Asimismo en suelos adyacentes a cada calicata, se realizaron in-situ siete (07) ensayos de Penetración dinámica con el cono de Peck (PDC). Con la finalidad de determinar las propiedades resistentes del suelo necesarias para el cálculo de la capacidad portante admisible del suelo.

Los ensayos de campo fueron realizados por la empresa M y M Consultores y Ejecutores S.R.L.

En el **Anexo Nº 02** se presenta la ubicación de calicatas y auscultaciones.

3.5.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

En el laboratorio se verificó la clasificación visual de las muestras alteradas tipo Mab y se procedió a ejecutar con ellas los ensayos de laboratorio siguiendo el procedimiento de las normas que se indican:

Análisis granulométrico	ASTM D 421
Límite liquido	ASTM D 423
Límite plástico	ASTM D 424
Contenido de humedad	ASTM D 2216
Clasificación de suelos (SUCS)	ASTM D 2487

Los ensayos de laboratorio fueron realizados por la empresa M y M Consultores y Ejecutores S.R.L.

En el **Anexo** N^o 03 se presentan las fichas de resultados de los ensayos de laboratorio y campo.

3.5.4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.5.4.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUB SUELO

Con los resultados de ensayos de clasificación realizadas en el laboratorio, se clasificaron las muestras de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS). De acuerdo a la norma ASTM D-2487, los cuales han sido contrastados con la descripción visual-manual de acuerdo a la norma ASTM D-2488, obtenida en le estratigrafía de la exploración de campo, procediéndose a compatibilizar las diferencias existentes, obteniéndose luego el perfil estratigráfico definitivo del subsuelo para cada calicata.

Los suelos predominantes en la ciudad de Ollantaytambo sector urbano y zona de expansión son suelos granulares compuestos por gravas tales como GP (Grava mal graduada con arena), GM (Grava limosa con arena), GM-GC (Grava limo arcillosa con arena) con presencia de bolonería en algunos casos. Excepto en el sector Lomadas (Compone) donde se encuentra CL-ML (Arcilla limo arenosa) y el sector Huayronccoyoc pampa donde se encuentran ML (Limo inorgánico con arena).

La clasificación SUCS y descripción del suelo portante de cada calicata se presentan en el siguiente cuadro:

CALI CATA	UBICACION	CLASIFICACION SUCS Y DESCRIPCION DEL SUELO PORTANTE	
C - 01	Lomadas	CL-ML: Arcilla limo arenosa. De baja compresibilidad. De consistencia medianamente compacta	
C - 02	San Isidro	GP: Grava mal graduada con arena. De densidad suelta.	
C - 03	Choq'epata (Estación)	GM: Grava limosa con arena. Medianamente densa.	
C - 04	Pillcohuasi	GP: Grava mal graduada con arena. De densidad suelta a muy suelta.	
C - 05	Huayronccoyoc pampa	ML: Limo inorgánico con arena. De densidad suelta a muy suelta	
C - 06	Mascabamba	GP: Grava mal graduada con arena. De densidad suelta a muy suelta.	
C - 07	Bandolista (carretera	GM-GC: Grava limo arcillosa con arena. Medianamente	
C - 07	Ollantaytambo - Occobamba)	densa.	

El detalle de la estratigrafía de cada una de las calicatas, se presentan en el **Anexo Nº 04** (Perfil estratigráfico del suelo).

3.5.4.2. ANALISIS GEOTECNICO DE CIMENTACIONES

El análisis geotécnico de estabilidad de las cimentaciones de edificaciones está basado en el cálculo de la capacidad portante ó presión admisible del suelo de apoyo.

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE CIMENTACIONES

El objetivo del presente ítem es desarrollar el cálculo de la capacidad portante de los suelos del área de estudio; con base a la información colectada anteriormente y el criterio ingenieril, común en el análisis de ingeniería de cimentaciones.

PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

El cálculo de la capacidad portante está basado en el conocimiento que se tiene de las propiedades resistentes y de compresibilidad de los suelos, determinados con base a la información de los ensayos realizados y en la interpretación realizada.

Los cálculos se efectuaron utilizando las fórmulas prácticas resultado de las teorías de Terzaghi, Meyerhof y la experiencia. Calculándose de acuerdo al tipo de suelo es decir suelo cohesivo y suelo friccionante (predominante).

En la aplicación de la fórmula, se han considerado los resultados de los ensayos de penetración dinámica con el cono de Peck, los cuales han sido procesados y correlacionados al ensayo S.P.T. con los cuales se procedió a los cálculos, considerándose los siguientes criterios en el caso de suelos friccionantes:

- a) Para un suelo con valores de Numero de Golpes Promedio Representativo N₆₀ mayores o iguales a 30 el tipo de falla del suelo por corte será "general" y los factores de capacidad de carga se determinan con el ángulo de fricción interna real.
- b) Para un suelo con valores Número de Golpes Promedio Representativo N₆₀ menores o iguales a 5 el tipo de falla del suelo por corte será "local" y los factores de capacidad de carga se determinan con el ángulo de fricción interna reducido, calculado mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

$\emptyset_{\text{reducido}} = \text{ArcTang} (2/3 \text{ Tang } \emptyset_{\text{real}})$

c) Para un suelo con valores de Numero de Golpes Promedio Representativo N_{60} entre 5 y 30 el tipo de falla del suelo por corte será llamada "intermedia" y los factores de capacidad de carga se determinan mediante una interpolación de aquellos valores calculados por corte "general" y por corte "local".

El cálculo de capacidad de carga admisible o capacidad portante se efectuará para un determinado tipo de edificación promedio urbana; que resulta en las actuales condiciones una edificación típica para el común de los pobladores del área urbana de la ciudad de Ollantaytambo.

Por la altura del edificio y las características geomecánicas típicas del suelo de cimentación de la ciudad de Ollantaytambo; se determina una profundidad de cimentación de 1.5 m. y dimensión mínima de 1.0 m. para el caso de zapatas cuadradas aisladas y de 0.6 m. para el caso de cimientos corridos.

Por tratarse de suelos friccionantes se realizó el cálculo de la capacidad portante admisible por corte y el cálculo de la presión admisible por asentamiento, para los tipos de cimentación indicados anteriormente, de los cuales, para los mapas de zonificación de capacidad portante admisible se consideraron los valores más críticos.

Los valores de capacidad portante admisible de cimentaciones calculados son:

AUSCULTACION	UBICACION	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE (Kg/cm²)
PDC - 01	Lomadas	1.06
PDC - 02	San Isidro	1.41
PDC - 03	Choq'epata (Estación)	1.97
PDC - 04	Pillcohuasi	0.84 *
PDC - 05	Huayronccoyoc pampa	0.77 *
PDC - 06	Mascabamba	0.99 *
PDC - 07	Bandolista (carretera Ollantaytambo-Occobamba)	1.97

^{*} Valores que a pesar de ser de tipo granular se encuentran en estado de densidad suelta a muy suelta y la capacidad portante admisible es por asentamiento, por ser el más crítico (no por corte).

El mapa de zonificación de capacidad portante admisible elaborado para la ciudad de Ollantaytambo sector urbano y zona de expansión esta conformado por 03 zonas los cuales se presentan en el **MAPA Nº 04** (CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS), de acuerdo a la siguiente descripción:

- 1. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 0.50 a 1.00 Kg/cm², considerando los sectores de Pillcohuasi, Huayronccoyoc pampa y Mascabamba. Valores que a pesar de ser de tipo granular se encuentran en estado de densidad suelta a muy suelta.
- 2. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 1.00 a 1.50 Kg/cm², considerando los sectores de Lomadas y San Isidro.
- 3. Zonas con capacidades portantes que fluctúan de 1.50 a 2.00 Kg/cm², considerando los sectores de Choq'epata (estación ferroviaria) y Bandolista (carretera Ollantaytambo-Occobamba).

ASPECTOS RELACIONADOS CON LA NAPA FREATICA

No se encontraron niveles freáticos en la profundidad investigada por tanto no tienen incidencia en el cálculo de la capacidad de carga, ni en fenómenos de licuefacción.

ANALISIS DE LICUACION DE SUELOS

El fenómeno de licuación de suelos es el cambio físico que experimenta una masa de suelo al pasar de un estado sólido a un estado fluido semejante al de un líquido viscoso. Para que se produzca licuación deben conjugarse ciertos factores que involucran las características propias del depósito de suelo y las características regionales de sismicidad. Es decir, debe estar constituido en forma general por una arena uniforme, suelta, saturada y además debe producirse un terremoto severo y duradero.

Los factores más importantes que influyen en el fenómeno de licuación de suelos son, la granulometría, densidad relativa, nivel freático, presión de poros, presión inicial de confinamiento, magnitud del sismo y duración.

La licuación no se presenta en suelos cohesivos, sino solo en suelos arenosos saturados. Para nuestro caso, al no tener suelos netamente arenosos saturados no es probable que se presente dicho fenómeno.

Los cálculos de la capacidad portante admisible de cimentaciones se presentan en el **Anexo Nº 05.**

3.5.5. CLASIFICACION DE SUELOS (ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA)

Con los resultados encontrados en los ítems anteriores es que se ha elaborado la zonificación geotécnica para el área de estudio, que comprende la presencia de hasta 03 tipos de suelos en función de sus características geotécnicas; lo cual se presenta en el MAPA Nº 05 (CLASIFICACION DE SUELOS) de acuerdo a la descripción siguiente:

- 1. Suelos gruesos granulares compuestos por gravas tales como GP (Grava mal graduada con arena), gravas GM (Grava limosa con arena) y suelos GM-GC (Grava limo arcillosa con arena) con presencia de bolonería en algunos casos. Estos suelos se encuentran en el sector San Isidro, Pillcohausi, Mascabamba, Choquepata-estación ferroviaria y Bandolista-carretera Ollantaytambo Occobamba.
- 2. Suelos finos como CL-ML. Arcilla limo arenosa, de baja compresibilidad. Estos suelos se encuentran en el sector Lomadas (Compone)
- 3. Suelos finos como ML. Limo inorgánico con arena, de baja compresibilidad. Estos suelos se encuentran en el sector Huayronccoyoc pampa.

3.5.6. PAUTAS TECNICAS DE CONSTRUCCIÓN.

A continuación se presentan recomendaciones técnicas para orientar el proceso de construcción de edificaciones, de acuerdo a las características de los suelos encontrados en la ciudad de Ollantaytambo. Con la finalidad que las construcciones estén preparadas para afrontar la eventualidad de un sismo y sus consecuencias, reduciendo así su grado de vulnerabilidad.

- a) Previamente a las labores de excavación de cimientos, deberá ser eliminado todo el material de desmonte o relleno no controlado que pudiera encontrarse en el área en donde se va a construir.
- b) No debe cimentarse sobre turbas, suelos orgánicos, desmonte o relleno sanitario. Estos materiales inadecuados deberán ser removidos en su totalidad, antes de construir la edificación y reemplazados con materiales seleccionados controlados de acuerdo a lo indicado en la norma E-050 Suelos y Cimentaciones del R.N.C.
- c) La cimentación de las edificaciones debe ser diseñada de modo que la presión de contacto (carga estructural del edificio entre el área de cimentación), sea inferior o cuando menos igual a la presión de diseño o capacidad portante admisible. Y los cálculos deben realizarse para la profundidad de cimentación.
- d) La profundidad mínima recomendable del nivel de cimentación es de 1.50 metros del nivel actual del terreno.

- e) En los sectores donde existen suelos granulares y finos (gravas, arenas y limos) de densidades sueltas a muy sueltas se deberá colocar un solado de mortero de concreto de 0.10 metros de espesor, sobre el fondo de la cimentación, debidamente compactada a grados de compactación especificadas en el acápite 4.4.1 de la norma E-050 suelos y cimentaciones del R.N.C.
- f) En los sectores donde existen suelos granulares y finos (gravas, arenas y limos) de densidades sueltas a muy sueltas las excavaciones de las cimentaciones deberán realizarse con adecuados entibamientos y apuntalamientos de las paredes de las excavaciones, y de ser necesario ejecutar calzaduras.
- g) En caso de proyectarse construcciones de abobe, estas deben ser como máximo de dos niveles con dimensionamiento y refuerzo de muros de acuerdo a las normas y un ancho de cimentación mínimo de 0.60 metros.
- h) No se debe realizar construcciones de adobe sobre suelos granulares de densidad suelta, muy suelta y suelos cohesivos blandos ni en arcillas expansivas.
- i) Los cimientos y sobrecimientos para muros de adobe o ladrillo o similar, deben ser de necesariamente concreto ciclópeo.
- j) Para edificaciones de concreto de más de dos pisos donde existan suelos granulares de densidad suelta, muy suelta y suelos cohesivos blandos, muy blandos se deben usar zapatas interconectadas con vigas de conexión, plateas de cimentación o vigas de cimentación, dependiendo de la magnitud de las cargas. A fin de reducir los asentamientos diferenciales.
- k) Las características de las edificaciones deben responder a las técnicas de construcción recomendadas para la zona.
- l) El diseño de las edificaciones debe responder a las condiciones climatológicas. Deben estar dirigidas, contrarrestar el asoleamiento y favorecer la ventilación y circulación interna para ayudar a los distintos tipos de evacuación.
- m) Los proyectos de edificaciones destinados a las concentraciones de gran número de personas deben realizarse de manera imprescindible el estudio de mecánica de suelos y un diseño específico que cumpla con las normas de seguridad física; garantizando de manera alternativa y dependiendo de la envergadura su uso como área de refugio temporal.. Debiendo la obligatoriedad y los estudios cumplir con la norma E- 050 suelos y cimentaciones del R.N.C.
- o) Para la instalación de tuberías en suelos sujetos a movimientos fuertes, se deberá emplear materiales dúctiles como el polietileno.
- p) La accesibilidad, circulación y seguridad para los limitados físicos, deben estar garantizadas con el diseño de las vías y accesos a lugares de concentración pública.

CAPITULO IV

MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO

4.1. MAPA DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO

4.1.1. FENOMENOS DE ORIGEN GEOLOGICO-CLIMATICO

Los fenómenos de origen geológico-climático de mayor incidencia en la ciudad de Ollantaytambo se presentan en la sub-unidad geomorfológica denominada "laderas de pendiente pronunciada" de los cerros circundantes y muy especialmente en la quebrada Patacancha.

Los fenómenos de origen geológico-climático que se presentan con mayor frecuencia en el área de estudio son los siguientes:

4.1.1.1. DESLIZAMIENTOS - DERRUMBES

Los deslizamientos se pueden definir como el movimiento de masas de suelos o rocas en los taludes o superficies inclinadas debidos principalmente a la gravedad. Los factores desencadenantes de los deslizamientos pueden ser: la presencia de aguas pluviales, erosión de la base del talud, sismos, e intervención antrópica principalmente con la construcción de canales de irrigación, carretera y caminos.

Al Norte de la ciudad de Ollantaytambo, en la quebrada Patacancha, se han cartografiado deslizamientos antiguos y que actualmente algunas de ellas se encuentran activas muy especialmente en la margen izquierda de la quebrada, debido al corte de talud en la construcción de la carretera Ollantaytambo-Patacancha-Occobamba.

Los derrumbes se observan generalmente en ambas márgenes de la quebrada Patacancha desde la ciudad de Ollantaytambo hasta Pallata. También cerca de la ciudad de Ollantaytambo, en la margen derecha se observan deslizamientos-derrumbes que han sido estabilizados mediante andenería inca

4.1.1.2. ALUVIONES

Son masas de gravas y bloques de rocas con una matriz arcillosa o limo-arenosa que se producen por efecto de erosiones importantes en las quebradas o asociadas directamente a deslizamientos y aludes. Estas se transportan por los torrentes asociados a la gravedad, formando depósitos de conos aluviales en sus desembocaduras.

La ciudad de Ollantaytambo se localiza en la desembocadura de la quebrada Patacancha, donde se observan diferentes fenómenos de geodinámica externa. Una evidencia muy importante son los conos aluviales muy antiguos sobre el que se ha construido la ciudad de Ollantaytambo.

A lo largo de la quebrada Patacancha, se tienen evidencias en los cortes de talud, de aluviones o huaycos muy antiguos que afectaron también parte de las construcciones incas pertenecientes al Conjunto Arqueológico Ollantaytambo. En efecto, la tradición oral cuenta que durante la época inca hubo un aluvión que afectó la ciudad inca de Ollantaytambo. Esto

se halla confirmado ya que en la margen derecha del río Patacancha y cerca al control de entrada a las ruinas incas se han realizado excavaciones en recintos que se hallan tapados por limos gravosos de un aluvión , lo que confirma la tradición oral y además ha servido de base para elaborar el mapa de peligro por aluviones.

4.1.1.3. CARCAVAS

Son depresiones erosivas, que se desarrollan en quebradas secas, donde por efecto de las aguas de lluvia empieza una erosión fuerte, produciendo depresiones retroprogresivas, es decir que la erosión avanza aguas arriba. Si las cárcavas no son controladas, pueden ser futuras zonas de deslizamiento o de producción de materiales para aluviones y huaycos.

En las laderas de la quebrada Patacancha se aprecian cárcavas, estas se activan en época de lluvias y están en relación directa con el fracturamiento de las rocas, poca cobertura de suelo así como la deforestación de estas zonas y a las pendientes fuertes.

4.1.2. EVALUACION DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO

Los peligros de origen geológico-climáticos de mayor incidencia en la ciudad de Ollantaytambo y áreas adyacentes, son por aluviones, deslizamientos-derrumbes, socavamiento y cárcava, procesos que se ven favorecidos por la presencia de aguas pluviales, alta pendiente del terreno, baja o pobre consistencia de los materiales.

4.1.2.1. CONO ALUVIAL PATACANCHA

La ciudad de Ollantaytambo y alrededores se ubica sobre un cono aluvial formado por la superposición de varios eventos aluviónicos y fluviales provenientes de la quebrada Patacancha. Este cono aluvial se compone de arena, gravas y bloques de rocas, los bloques llegan a dimensiones de hasta 0.50 metros en los cauces actuales, pero en las acumulaciones antiguas pasan el metro de diámetro. Las gravas hacen que los terrenos de cultivo ubicados sobre este cono sean pedregosos y bastante permeables.

Este cono aluvial esta cortado por el cauce del río Patacancha de dirección Norte-Sur, que desemboca en el río Vilcanota.

A lo largo de la ciudad de Ollantaytambo, el río Patacancha se encuentra encauzado en gran parte mediante muros de contención de sección rectangular, pero las corrientes de agua que en época de lluvias se incrementan están erosionando por partes la base de los muros y del cauce mismo, y siendo mayor en el cauce natural. Otra problemática que provoca el río Patacancha es el transporte de sedimentos desde gravas hasta finos que en época de lluvias excepcionales pueden provocar represamientos y que se acentúan muchos mas por la presencia de varios puentes de pequeña luz que sus estructuras estrechan el cauce del mencionado río.

En general los cauces de quebradas representan un peligro alto para la construcción de viviendas, porque el agua siempre busca su cauce natural para discurrir, sobre todo si se presenta un periodo de intensas lluvias que pueden provocar aluviones.

4.1.2.2. PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO DE LA QUEBRADA PATACANCHA

La quebrada Patacancha tiene una dirección Norte-Sur y luego Noreste-Suroeste hasta llegar a los restos incas pertenecientes al Conjunto Arqueológico Ollantaytambo, y es un afluente del río Vilcanota en su margen derecha. En la desembocadura de esta quebrada, se emplaza gran parte de la ciudad de Ollantaytambo inca y actual, sobre depósitos de conos aluviales. Los materiales de este cono proceden de la parte alta de la quebrada Patacancha, donde afloran principalmente conglomerados, areniscas, cuarcitas, esquistos, pizarras y rocas volcánicas pertenecientes a unidades geológicas del Paleozoico.

Por tramos se tiene acumulación de material aluviónico perteneciente ya sea a aluviones antiguos o restos de morrenas, ya que estos pueden facilitar la producción de materia prima para un nuevo aluvión, que puede ser favorecido por la fuerte pendiente de las laderas. El material depositado está conformado por bloques y gravas en una matriz limo-areno-arcillosa. Son 4 los tramos donde se reconocen saltos que se diferencian de los tramos adyacentes por que estas últimas tienen llanuras donde el río forma meandros y a veces pantanales.

Los aluviones están compuestos de gravas y bloques con diámetros mayores a 1m dispuestos en todo el valle.

A lo largo de la quebrada Patacancha, se han observado numerosos problemas geodinámicos como: deslizamientos antiguos, algunos de los cuales están en vías de reactivación, cárcavas, conos aluviales, derrumbes y erosión local de las márgenes del río Patacancha que afectan principalmente deslizamientos antiguos. La inestabilidad de las laderas está en relación directa principalmente con el corte de talud por efecto de la construcción de la carretera hacia Occobamba, así como de la erosión del río que hacen más vulnerables estas zonas en la época de lluvias. Todas estas causas y las características geomorfológicas facilitan la producción de materia prima que muy bien pueden convertirse en aluviones en periodos de lluvias excepcionales.

Los peligros geológico-climáticos de la quebrada Patacancha se muestran en el **MAPA Nº 06** (GEODINAMICO). Las fotografías que se mencionan en el presente informe se muestran en el **Anexo Nº 06** (Fotos del desarrollo de los trabajos geológico-geodinámico).

1. MARGEN DERECHA DEL RIO PATACANCHA

En la margen derecha tenemos 3 zonas: Zonas CA, CC y DA.

a) Zona de conos aluviales CA

Cono aluvial CA1:

Se trata de un cono aluvial transversal antiguo, con un desnivel entre los 4050 y 4350 m.s.n.m. Actualmente, parte de la base de este cono viene siendo erosionado por el río. La zona está cubierta por pastos naturales de tallo corto e ichu.

Cono aluvial CA2:

Es un cono aluvial antiguo, con un desnivel entre los 3875 y 4075 m.s.n.m. Dentro de este cono se observa otro cono más pequeño, que se encuentra activo y cuya desembocadura es afectado por la fuerte erosión del río (Foto 1). La vegetación es muy escasa.

Cono aluvial CA3:

Cono aluvial antiguo, con un desnivel desde los 3775 a los 4200 m.s.n.m. A la altura de este cono la quebrada actual es muy estrecha y los afloramientos de rocas no tienen muchos aportes de material, y lo poco es erosionado. Por lo tanto aquí, el peligro es la erosión de río.

Cono aluvial CA4:

Cono aluvial antiguo, con un desnivel entre los 3675 y 4175 m.s.n.m. Esta zona se halla estable debido a la presencia de vegetación arbustiva nativa, pastos nativos e ichu. La pendiente de esta ladera es fuerte y la roca muy fracturada, cuya base está también erosionada por las corrientes de agua. Es un valle muy cerrado.

Cono aluvial CA5:

Cono aluvial antiguo muy estable en la actualidad, debido a la vegetación arbustiva y pastos nativos, así como árboles de eucalipto y que parcialmente es utilizada como terrenos de cultivo. La base de este cono ha sido intensamente erosionado por el río Patacancha. El valle es muy estrecho y hay un desnivel apreciable del río que llega al poblado de Huilloc, y las pendientes fuertes de las laderas pueden provocar un represamiento que podrían afectar áreas pobladas y de cultivo aguas abajo tiene un desnivel desde los 3550 hasta los 4400 m.s.n.m.

Cono aluvial CA6:

Se trata de un cono aluvial antiguo, con un desnivel desde los 3175 a 3700 m.s.n.m. Este cono tiene evidencias de ser activo anualmente en época de lluvias, razón por la cual se han realizado obras de encauzamiento al final de la quebrada Yuracmayo y además donde se encuentra ubicada parte del pueblo de Pallata (Foto 2). Este cono es utilizado como áreas agrícolas. Por referencias históricas se sabe que su actividad ha sido muy fuerte la década pasada, debido a las evidencias de deslizamientos ubicados al final de la quebrada Yuracmayo, donde actualmente se observan obras de encauzamiento. La vegetación está compuesta de pastos y arbustos en la parte baja, mientras que en la parte alta se halla compuesta solo de pastos.

Cono aluvial CA7:

Se trata de un cono aluvial antiguo estabilizado por los incas con andenes (Foto 3), con un desnivel entre los 3075 y 3350 m.s.n.m. Este cono se encuentra entre dos deslizamientos antiguos, con peligro de ser erosionado en su base. La vegetación está compuesta por pasto nativo, arbustos de tallo corto y alto, y árboles de eucalipto.

Cono aluvial CA8

Se trata de un cono aluvial antiguo, con un desnivel entre los 2950 y 3125 m.s.n.m. En la parte superior de este cono se observa una cárcava que seria responsable de las recientes pequeñas reactivaciones.

b) Zona de conos de deyección CC

Cono de deyección CC1:

Se trata de un cono de deyección que se activo durante la construcción de la carretera, es decir buscando su equilibrio. Tiene un desnivel desde los 4000 a los 4475 m.s.n.m. Las causas para su probable activación son la fuerte pendiente que presenta el terreno, la presencia de suelo coluvial, corte de talud, y erosión del río en época de lluvias. La vegetación está compuesta de pastos nativos e ichu.

Cono de deyección CC2:

Se encuentra al Sur del CC1 y además presenta las mismas características de inestabilidad. Tiene un desnivel entre los 3950 y 4450 m.s.n.m. Las causas para su probable activación son la fuerte pendiente, el suelo coluvial, afloramientos de rocas muy fracturadas, corte de talud por construcción de carretera, y erosión del río en época de lluvias. La vegetación está dada por pastos nativos e ichu.

Cono de deyección CC3:

Se trata de una serie de conos que se ubican al Sur del CA2 hasta llegar a CA3. En este lugar la pendiente de las laderas es muy fuerte y los afloramientos de roca están muy fracturados, y además hay presencia de suelo coluvial. Estos factores la hacen inestable y además es una zona de erosión de río y con cortes de talud debido a la construcción de la carretera.

Cono de deyección CC4:

Se trata de un cono de deyección que se encuentra parcialmente estable debido a la presencia de vegetación arbustiva nativa, pastos nativos e ichu, con un desnivel desde los 3250 a los 3850 m.s.n.m. La pendiente de esta ladera es fuerte y a veces la roca muy fracturada, provocando pequeños derrumbes o caídas de rocas, cuya base es también erosionada por las corrientes de agua. Es un valle relativamente amplio.

Cono de deyección CC5:

Se trata de un cono que se encuentra parcialmente estable debido a la presencia de vegetación arbustiva nativa, pastos nativos e ichu, con un desnivel desde los 2900 hasta 3700 m.s.n.m. La pendiente de esta ladera es fuerte y a veces la roca muy fracturada, provocando pequeños derrumbe. Estos depósitos se encuentran en contacto con materiales aluviales del piso de valle. Es un valle relativamente amplio.

c) Zona de deslizamientos DA

Deslizamiento DA1:

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 500 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3525 hasta los 4000 m.s.n.m. Sobre este deslizamiento se asientan muchas viviendas, terrenos de cultivo, cercos vivos y vegetación compuesta por arbustos, pastos y árboles de eucalipto. Al pie de este deslizamiento se encuentra ubicada parte del poblado Huilloc (Foto 4), que tiene evidencias de antiguos aluviones, pero el peligro mayor son las inundaciones ya que el pueblo se encuentra ubicada en las llanuras de inundación del río y además con presencia de humedales (Foto 5). En general el deslizamiento se encuentra estable, pero que deben tomarse las medidas de previsión en el poblado como son encauzamiento del río para evitar el alto peligro por inundación a que están expuestas.

Deslizamiento DA2:

Corresponde a un deslizamiento antiguo (Foto 6), de aproximadamente 900 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3375 hasta los 4175 m.s.n.m. Aquí se observan terrenos de cultivo y árboles de eucalipto. Sobre este deslizamiento también se asientan viviendas. Al pie de este deslizamiento se observan llanuras de inundación del río, que seguramente en época de lluvias son afectadas, además se tiene la presencia de manantiales, zona de humedales (Foto 7). Al Sur de este deslizamiento se observa construcciones incas y además aguas abajo se estrecha el río, debido a varios factores: aluviones (o fluvio glaciar?) que han creado un desnivel muy fuerte de esta zona con las áreas aguas abajo, otra causa también es la activación del deslizamiento DB8 en su parte Sureste y finalmente es una zona de afloramiento de rocas

que forman como una barrera natural y desvío del curso del agua, que puede provocar el taponamiento del río por las causas antes expuestas. Además se tiene el peligro de inundaciones río arriba y abajo. Es recomendable que esta zona sea intangible, para prever la no ampliación de la expansión urbana y conservar el medio natural.

Deslizamiento DA3:

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 800 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3125 hasta los 3600 m.s.n.m. Terrenos de cultivo con cercos de piedras y vivos, zonas forestadas muy parcialmente con vegetación arbustiva se localizan sobre este deslizamiento. A la altura de la cota 3300 m.s.n.m. parece estar en vías de reactivación debido a cortes de talud, pendiente fuerte y principalmente a la erosión del río, por lo que debe tomarse medidas de monitoreo o un estudio a detalle. El fondo del valle es parcialmente amplio utilizado como terrenos de cultivo.

Deslizamiento DA4:

Se trata de un deslizamiento antiguo ubicado al Sur de DA3, de aproximadamente 600 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3300 hasta los 4000 m.s.n.m. La pendiente de la ladera es muy fuerte y está forestada muy parcialmente con vegetación arbustiva.

Deslizamiento DA5:

Se trata de un deslizamiento antiguo colindante con el DA4, de aproximadamente 1400 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 2950 hasta los 3875 m.s.n.m. La pendiente de la ladera es muy fuerte y está forestada muy parcialmente con vegetación arbustiva.

Dentro de este deslizamiento, se observa un deslizamiento activo de aproximadamente 800 metros de ancho y llega aproximadamente hasta la cota 3400 m.s.n.m. Es un deslizamiento antiguo, que fue estabilizado mediante andenerías por los incas, que actualmente debido a la falta de vegetación y no haber los drenajes puede reactivarse y más aun debido al valle estrecho que presenta esta zona, donde la erosión del río es fuerte y mucho más en época de lluvias (Foto 8). Debe realizarse estudios geodinámicos detallados de esta zona así como monitoreos por peligros de deslizamiento, inundación y erosión del río. En el extremo Sur de este deslizamiento se observa una escarpa de deslizamiento estabilizado, que va desde la cota 2975 hasta 3100 m.s.n.m.

2. MARGEN IZQUIERDA DEL RIO PATACANCHA

En la margen izquierda se han determinado 3 zonas: Zona CB, CD y DB.

a) Zona de conos aluviales CB

Cono aluvial CB1:

Se trata de un cono aluvial antiguo, con un desnivel desde los 3900 a los 4100 m.s.n.m. Actualmente, la parte baja de este cono colinda con el río, que lo erosiona muy fácilmente debido a la presencia de suelo fino y además a que en la parte baja de este cono se encuentra saturado de agua debido al afloramiento de aguas subterráneas. Parte de este cono es utilizado como terrenos de cultivo. Se recomienda trabajos de encauzamiento y forestación en las laderas y ribera del río. La vegetación se halla compuesta por pastos nativos e ichu.

Cono aluvial CB2:

Se trata de un cono aluvial antiguo, con un desnivel entre los 3850 y 4150 m.s.n.m. Actualmente, la parte baja de este cono es erosionado por el río Patacancha formándose pequeños derrumbes, que se acentúan con los desagües de las viviendas que erosionan las laderas. Se recomienda trabajos de encauzamiento y forestación en las laderas y ribera del río. La vegetación esta dada por pastos nativos e ichu, pero en las viviendas se aprecian eucaliptos y árboles nativos.

b) Zona de conos de deyección CD

Cono de devección CD1:

Esta compuesto por varios conos de deyección, ubicados al Sur de CB2 y DB5, con un desnivel desde los 3700 a 4000 m.s.n.m. Los materiales se hallan inestables por el corte de talud, rocas muy fracturadas y pendiente muy fuerte (Foto 9). El fondo del valle es amplio con presencia de viviendas donde el peligro por inundación es muy alto. La vegetación está compuesta por pastos y arbustos de tallo corto e ichu. La recomendación es que esta área sea intangible.

Cono de deyección CD2

Se trata de varios conos de deyección, ubicados al Sur de DB8. Tiene un desnivel grande entre los 3250 y 3900 m.s.n.m. Esta área presenta problemas de derrumbes, cuyos materiales afectan la carretera (Foto 10). Las causas de inestabilidad de laderas se deben al corte de talud, rocas muy fracturadas y pendiente muy fuerte, la recomendación es que debe ser forestado con especies nativas. El fondo del valle es cerrado al inicio y que se va ampliando aguas abajo por lo que se ve terrenos de cultivo, con peligro de inundación y erosión del río. La vegetación está caracterizada por pastos y arbustos de tallo corto y algunos árboles nativos y eucaliptos.

Cono de deyección CD3:

Se trata de un pequeño cono de deyección, ubicado al Sur de DB9. Tiene un desnivel entre 3075 y 3550 m.s.n.m. Las causas de inestabilidad de laderas se deben posiblemente a los cortes de talud, por aflorar rocas muy fracturadas y pendiente muy fuerte.

Cono de devección CD4:

Se trata de varios conos de deyección de pequeñas dimensiones, ubicadas en el flanco Norte del cerro Pinculluna. Tienen un desnivel aproximado que va de 2900 hasta los 3300 m.s.n.m. Las causas de inestabilidad de laderas se deben posiblemente al fracturamiento de las rocas y pendiente muy fuerte

c) Zona de deslizamientos DB

Deslizamiento DB1

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 700 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 4000 hasta los 4450 m.s.n.m. Un pequeño tramo de la base sur de este deslizamiento se encuentra afectado por la erosión del río Patacancha, que se caracteriza por reptaciones del suelo (Foto 11). En general se encuentra estable pero se debe realizar obras de encauzamiento y conservar las llanuras de inundación ya que se encuentran zonas de humedales. En todo su límite norte se observan manantes.

Deslizamiento DB2

Se trata de un pequeño deslizamiento antiguo, de aproximadamente 200 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3925 hasta los 4200 m.s.n.m. Deslizamiento relativamente estable en época de secas ya que colinda con la llanura de inundación del río Patacancha (Foto 12), pero en época de lluvias es afectada su base, por lo que se recomienda el encauzamiento del río patacancha, pero conservando sus zonas de humedales. Otra recomendación es la reforestación con plantas nativas de las laderas así como de las riberas del río para evitar la erosión de laderas y ríos. El fondo del valle es propenso potencial a peligros de inundación.

Sobre el deslizamiento se observan viviendas. La vegetación está compuesta mayormente por pastos nativos e ichu. En el límite Sur de este deslizamiento se tienen manantes, que igualmente se observan en la base del deslizamiento

En consecuencia se deben tomar en cuenta las recomendaciones o evacuar las poblaciones pues en un futuro cercano la reactivación de este deslizamiento puede ocasionar la pérdida no solo de viviendas sino también de habitantes.

Deslizamiento DB3:

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 1000 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3925 hasta los 4375 m.s.n.m. Deslizamiento cuya base colinda con la llanura de inundación del río Patacancha; en parte de este deslizamiento se tiene evidencias de pequeños derrumbes y reptaciones de suelo, seguramente acentuados en la época de lluvias por la subida del nivel del río (Foto 13). Se recomienda el encauzamiento del río, pero conservando sus zonas de humedales. Otra recomendación es la reforestación con plantas nativas de las laderas así como de las riberas del río para evitar la erosión de laderas y ríos. El fondo del valle es parcialmente amplio en su margen derecha que esta siendo utilizado como terrenos de cultivo y parte de la margen izquierda, pero con peligro de inundaciones anuales y acentuándose si se activa la parte Sur de este deslizamiento, que puede ocasionar un represamiento ya que es muy estrecho por la presencia de un cono. Sobre este deslizamiento se observan viviendas. La vegetación esta compuesta por pastos nativos e ichu. En la parte baja del deslizamiento se observan afloramientos de agua acompañado de reptaciones de suelos.

Deslizamiento DB4:

Es un deslizamiento antiguo de aproximadamente 300 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3900 hasta los 4350 m.s.n.m. Este se ubica al Sur del DB3 y tiene las mismas características razón por la cual también se propone las mismas recomendaciones. Sobre este deslizamiento se observan viviendas. La vegetación está dada por pastos nativos e ichu. En la parte baja del deslizamiento se observan afloramientos de agua y áreas inestables como reptaciones.

Deslizamiento DB5:

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 500 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3800 m.s.n.m., hasta los 4250 m.s.n.m. Deslizamiento cuya base es erosionado por el río Patacancha, muy especialmente la parte baja sur de este deslizamiento y acentuado por el corte de talud (carretera) que afectan terrenos de cultivo y viviendas, haciendo de esta zona una área activa por inestabilidad de laderas, ya que en viviendas cerca de la carretera se observan agrietamientos (Foto 14). Después de pasar el deslizamiento DB5 el valle se estrecha y además hay un desnivel fuerte del río, esto podría provocar un represamiento con las consecuencias de inundaciones, debido al activamiento de parte del

deslizamiento DB5 así como del cono aluvial CD1 (parte Norte), razón por la cual se deben realizar obras de encauzamiento del río, reforestación, así como medidas de emergencia en caso de ocurrir un desastre.

En el fondo del valle se ubican los poblados denominados Pucrucancha (margen derecha del río), Romero o Sondormayo (margen izquierda del río) (Foto 15) y sobre el deslizamiento DB5 se sitúa la comunidad-pueblo de Patacancha cuyas viviendas tienen árboles de eucalipto. El valle donde se ubican los poblados son zonas con peligro alto a inundación y erosión de ribera de río que inclusive afecta la carretera hacia el Sur. La vegetación es de pastos nativos e ichu. En la parte baja de este deslizamiento se observan manantiales o afloramientos de agua. La erosión del río afecta la carretera.

Deslizamiento DB6:

Se trata de un deslizamiento antiguo, de aproximadamente 500 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3625 m.s.n.m. hasta los 4200 m.s.n.m. Es utilizada como pastizales y se tiene poca vegetación compuesta por arbustos de tallo corto y pastos nativos en menor proporción, existen muchos cercos vivos. Este deslizamiento se ubica al Sur del DB5. El fondo del valle es muy estrecho, aflorando en su margen derecha rocas y en su margen izquierda erosiona fuertemente sus riberas afectando la carretera pese a tener muros de contención (Foto 16). El corte de carretera también afecta la estabilidad de la ladera final del deslizamiento, razón por la cual hay erosión de laderas y pequeños derrumbes. Es necesario encauzar el río, estabilizar los taludes y reforestar. El fondo del valle es muy estrecho y además hay un desnivel fuerte del río. Al Sur del deslizamiento el fondo del valle se amplia un poco, donde se encuentra la carretera, y puede considerarse como una zona de inundación del río Patacancha (pasando el puente).

Deslizamiento DB7:

Es un deslizamiento antiguo de 700 metros de ancho y un desnivel que va desde los 3500 hasta aproximadamente los 4050 m.s.n.m. El fondo del valle es muy estrecho debido al afloramiento de rocas, con laderas inestables, compuestas además por suelos deslizados y roca fracturada. Este deslizamiento presenta reactivaciones de movimiento (reptación) debido a la erosión del río y corte de talud (carretera) (Foto 17). Es necesario también realizar estudios más puntuales de geodinámica debido a que parece que su área de influencia es mucho mayor.

Deslizamiento DB8:

Se trata de un deslizamiento antiguo de aproximadamente 700 metros de ancho, y un desnivel que va desde los 3325 hasta los 3825 m.s.n.m. La base es erosionada por el río Patacancha, principalmente la parte baja sur que es muy activo y se acentúa por el corte de talud (carretera) que afectan terrenos de cultivo. En esta parte, el valle es muy estrecho y además hay un desnivel fuerte del río, esto podría provocar un represamiento con las consecuencias de desembalses (Foto 18), razón por la cual se deben realizar obras de encauzamiento del río, reforestación, así como medidas de emergencia en caso de ocurrir un desastre.

Deslizamiento DB9:

Deslizamiento antiguo de aproximadamente 1200 metros de ancho y un desnivel que va desde los 3200 hasta los 3900 m.s.n.m. En este sector el fondo del valle es relativamente ancho y utilizado como terrenos de cultivo. Dentro de este deslizamiento se observan tres conos de deyección antiguos relativamente estables debido a la presencia de vegetación. Sin embargo, estos se pueden reactivar por la tala de vegetación y la erosión propia ligada al cono.

4.1.2.3. PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO VILCANOTA

En la zona de Huayronqoyoc se observan dos conos aluviales que en conjunto tienen un ancho de 1000 metros, con desnivel que va aproximadamente desde 2800 hasta 3425 m.s.n.m. Estos conos se encuentran no activos, mientras en la parte baja se encuentran estabilizados por andenería inca.

Aguas abajo del río Vilcanota se aprecian también cárcavas, conos aluviales y deslizamientos antiguos no activos

4.1.3. ZONIFICACION DE PELIGROS GEOLOGICO-CLIMATICO

La ciudad de Ollantaytambo se ubica sobre un cono aluvial antiguo. La formación de este cono esta relacionado a flujos aluviónicos antiguos, procedentes de la quebrada Patacancha.

Se tienen antecedentes geológicos de aluviones e inundaciones en la ciudad de Ollantaytambo, los que se ven en los cortes de afloramientos de suelos. Gran parte de la ciudad inca, colonial y contemporánea han sido construidas sobre aluviones pre-incas, pero también se tiene registrados otros aluviones de menor energía ocurridos durante la ocupación inca o post-inca debido a que algunos recintos incas de la margen derecha están rellenados o cubiertos por material aluviónico.

Del análisis del mapa geodinámico de la quebrada Patacancha se concluye que en la margen derecha mayormente ocurren conos aluviales y conos de deyección, mientras que en la margen izquierda mayormente ocurren deslizamientos y conos de deyección cerca de Ollantaytambo. Por estas razones es necesario tomar en cuenta la geodinámica de las laderas para la construcción de futuras obras.

Por las evidencias de campo, parece ser que la quebrada Yuracmayo es de mayor peligro por los materiales que actualmente arrastra, ya que nace en el nevado Halancoma, en cuyas faldas se reconocen morrenas antiguas, pequeñas lagunas, agua subterránea y además las fuertes precipitaciones que pueden producirse en época de lluvias excepcionales, tal como ocurrieron la década pasada. En razón de este problema la desembocadura de este río se encuentra encauzada, pero que en algunos tramos se encuentra erosionado debido a las lluvias anuales que la erosionan constantemente.

4.1.3.1. ZONIFICACIÓN DE PELIGRO POR ALUVIÓN PARA LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO

La zonificación de peligros por aluvión para la ciudad de Ollantaytambo se presenta en el **MAPA Nº 07** (ZONIFICACION DE PELIGRO POR ALUVION), para el cual se han establecido 03 zonas de acuerdo a la descripción siguiente:

a) Peligro Muy Alto

En caso de ocurrir un aluvión de grandes magnitudes parecidas a los aluviones durante la ocupación inca, las zonas mas afectadas y por lo tanto de peligro muy alto a inundaciones y aluviones son las márgenes del río Patacancha y que se magnificaría el problema debido a que existen tres áreas de estrechamiento del cauce debido a la presencia de un puente de paso Ollantaytambo-Patacancha (Foto 19), puente poblado Ollantaytambo-Conjunto Arqueológico

Ollantaytambo (Foto 20) y el puente de entrada hacia la estación de tren Ollantaytambo (Foto 21), estos obstáculos provocarían represamientos con peligro de inundaciones. Es también necesario indicar que la margen izquierda tiene muros de contención que llegan hasta 5 metros pero que sin embargo necesita su refacción ya que en algunos tramos esta siendo erosionado en sus bases. La margen derecha tiene menos protección debido a que mayormente existen en esta margen terrenos de cultivo y cuya refacción es prioritaria e inclusive ampliar el encauzamiento hacia esta margen (Foto 22).

b) Peligro Alto

Está considerado el sector urbano comprendido desde el área con peligro muy alto en un ancho que varía de 50 a 200 metros en la margen izquierda y estaría afectando una pequeña parte del sector Oeste de la ciudad. Mientras que en su margen derecha el ancho es aproximadamente de 280 metros y que afectaría principalmente terrenos de cultivo, así como la parte del Conjunto Arqueológico Ollantaytambo situado al Oeste de la ciudad

c) Peligro Medio a Bajo

Corresponde a las zonas aledañas a la de peligro alto en ancho variable, que en su margen izquierda afectaría casi el total de la ciudad así como terrenos de cultivo. En la margen derecha afectaría principalmente terrenos de cultivo.

4.2. MAPA DE PELIGRO CLIMATICO

4.2.1. FENOMENOS DE ORIGEN CLIMATICO

Los fenómenos de origen climático de incidencia en la ciudad de Ollantaytambo y quebrada Patacancha se presentan en la sub-unidad geomorfológica denominada "laderas de pendiente suave" que corresponden al cono aluvial Ollantaytambo y piso de valle Patacancha.

Generalmente se tiende a subestimar los fenómenos de origen climático que puede afectar a una determinada zona y, por lo general, este aspecto no es considerado durante el proceso de planificación del desarrollo local, en razón de que el río se encuentra encauzado, pero que los cálculos de lluvias excepcionales pueden pasar la capacidad de encauzamiento y por lo tanto causar inundaciones con lamentables consecuencias ya que gran parte de los grandes hospedajes turísticos se encuentran en la margen izquierda del río Patacancha.

Los fenómenos de origen climático que se presentan con mayor frecuencia en el área de estudio son las inundaciones.

4.2.1.1. INUNDACIONES

Es el desplazamiento de las aguas de los ríos y quebradas que al sobrepasar su capacidad normal de cauce, inunda los terrenos adyacentes. Las causas son las intensas precipitaciones pluviales, la incapacidad del cauce a conducirlas o por aluviones asociados a desembalses.

4.2.2. EVALUACION DE PELIGRO CLIMATICO

Los peligros por inundación están relacionados a las precipitaciones pluviales excepcionales que ocurren en la parte alta de la quebrada Patacancha así como de la quebrada Yuracmayo que nace de los deshielos del Nevado Halancoma, donde se deben realizar estudios geodinámicos mas detallados de la microcuenca, para prevenir posibles aluviones o huaycos.

En el mapa geodinámico de la quebrada Patacancha también se observan las zonas de erosión de cauce y las zonas de inundación, que desde Ocororuyoc hasta Patacancha afectando humedales, pastizales y pequeñas áreas cultivables. El peligro mayor de inundación, erosión fluvial y erosión de carretera se presenta en los poblados denominados Pucrucancha (margen derecha del río), Romero o Sondormayo (margen izquierda del río), que en conjunto forman parte de la comunidad de Patacancha. Otro lugar con peligro de erosión del río en su margen izquierda es el poblado de Huilloc.

Desde Patacancha la quebrada se va estrechando hasta llegar a la quebrada Llacuhuayjo (parte Sur del deslizamiento DA2), siendo una zona con peligro de represamiento debido a la presencia de algunos desniveles fuertes de pendiente del río y principalmente a la presencia de deslizamientos activos por el corte de talud de la carretera así como por la erosión del río Patacancha.

Mas abajo de la quebrada Llacuhuayjo, el valle se amplia y el río tiene un cauce definido y por sectores se encuentra encauzado.

La quebrada Yuracmayo, aguas abajo, es la que presenta mayor peligro por inundaciones del río Patacancha, debido a que aumenta su caudal y que además puede ser una zona de represamiento en el caso de producirse un aluvión en la quebrada Yuracmayo.

Los estudios hidrológicos muestran que en caso de máximas lluvias la sección del canal del río en la ciudad no soportaría, por lo que se producirían inundaciones. Estas afectarían las márgenes del río tal como se muestra en el mapa de peligro por inundación del río Patacancha.

El río Vilcanota es el colector principal de la gran cuenca hidrográfica del mismo nombre, y en época de lluvias transporta una cantidad importante de aguas pluviales y sedimentos. En Ollantaytambo, el cono aluvial de Patacancha donde está ubicada la ciudad está encauzado y se tiene un desnivel importante por comparación al río. Las inundaciones en el río Vilcanota no son de mucha importancia, ya que en la zona de Ollantaytambo la mayor parte del río se encuentra encauzado con muros incas.

4.2.3. ZONIFICACIÓN DE PELIGRO CLIMÁTICO

4.2.3.1. ZONIFICACIÓN DE PELIGRO POR INUNDACIÓN

De acuerdo a las estimaciones de caudales máximos, una eventual ocurrencia de los mismos pueden ocasionar desbordamientos y consiguientes inundaciones en áreas adyacentes del tramo canalizado que atraviesa la ciudad (sección media rectangular de 5.5 x 3.8 metros), y no obstante no existir antecedentes recientes de hechos de esta naturaleza, sin embargo ello no garantiza que el nivel máximo de aguas sobrepase la sección del canal y que pueda afectar algunos sectores de la ciudad.

Los peligros existentes pueden ser en primer lugar por el volumen líquido que podría concentrarse debido al tamaño considerable de la cuenca y segundo lugar por un eventual desbordamiento de las lagunas existentes en las nacientes del río.

En este caso el tamaño considerable de la cuenca (144 km²) puede concentrar un volumen de escorrentía que supere fácilmente la capacidad de la canalización, pues considerando una velocidad de 3 m/seg y el caudal máximo de 66 m³/seg, requeriría un área de 22 m², el mismo que sería mayor que la sección del canal existente.

De las estimaciones de avenidas máximas que pueden ocurrir, sólo las lluvias con períodos de retorno de 50 años pueden tener incidencia y ocasionar algunas inundaciones, estas tendrían lugar en los tramos próximos al río Vilcanota, y que podrían afectar algunas parcelas. En cuanto a la seguridad de los sitios arqueológicos que forman parte del Conjunto Arqueológico Ollantaytambo (Baños del Inca y lugares adyacentes), esta se vería afectada sólo en caso de producirse avenidas centenarias (MAPA Nº 08).

En el **MAPA Nº 08** (ZONIFICACION DE PELIGRO POR INUNDACION), se muestra la zonificación de peligro por inundación de los ríos Patacancha y Vilcanota.

4.2.3.2. ZONIFICACIÓN GEOLOGICA DE PELIGRO POR INUNDACION DEL RIO VILCANOTA

Las inundaciones del río Vilcanota no son de mucha importancia, ya que en la zona de Ollantaytambo la mayor parte del río se encuentra encauzado con muros incas, que en algunos casos necesitan de restauración. Trabajos de campo y análisis sedimentológico del río Vilcanota han permitido reconocer áreas de inundaciones recientes y antiguas (mayores a los 100 años). Esto nos ha permitido realizar una zonificación determinando áreas con peligro muy alto, alto, medio a bajo para inundaciones que se muestran en el MAPA Nº 09 (ZONIFICACION GEOLOGICA DE PELIGRO POR INUNDACION DEL RIO VILCANOTA). Este es un mapa que se complementa al mapa de peligro por inundación del río Vilcanota obtenido a partir de datos hidrológicos.

a) Peligro Muy Alto

Son las zonas que son afectadas o pueden ser afectadas por inundaciones ligadas a lluvias muy fuertes que se producen anualmente o con un periodo de recurrencia de 10 años. Cabe destacar que en la ciudad las zonas de peligro son muy pocas y se reduce a los borde del río.

b) Peligro Alto

Corresponde a las zonas que pueden ser inundadas en periodos de lluvias extraordinarias que se producen entre 10 y 100 años. Sin embargo, hemos considerado por seguridad una estrecha franja entre el borde del río y los muros incas como de peligro alto. Aguas arriba del Ollantaytambo, zonas que corresponden a zonas de cultivos que están en vías de expansión urbana (Foto 23).

c) Peligro Medio a Bajo

Son zonas relativamente alejadas y un poco más altas del cauce inundable, pero pueden ser inundadas debido a lluvias extraordinarias con periodos de recurrencia mayores a los 100 años, o debido a la llegada de aluviones producidos en la parte alta de la cuenca. Si bien es cierto que estas posibilidades son muy bajas, pero no deben ser ignoradas. Estas áreas corresponde a lugares aguas abajo o aguas arriba de Ollantaytambo destinas a la agricultura.

4.3. MAPA DE PELIGROS GEOTECNICOS

4.3.1. FENOMENOS DE ORIGEN GEOTECNICO

Los fenómenos de origen geotécnico que se han tomado en cuenta para el análisis de su ocurrencia en el área de estudio, son los siguientes:

Falla por corte y asentamiento del suelo (Capacidad Portante)

Se producen en el suelo de cimentación que presenta una baja capacidad portante y en donde los esfuerzos actuantes inducidos por una estructura de cimentación de alguna obra específica, pueden ocasionar la falla por corte y asentamiento del suelo. Un suelo con una capacidad portante de 1.50 Kg/cm² como mínimo se le considera aceptable para una cimentación común y para valores menores se deberá tener un especial cuidado debido a la posibilidad de una drástica reducción de la capacidad portante en condiciones dinámicas y amplificación de ondas sísmicas.

Cambios de volumen por cambios en el contenido de humedad

Se producen en el suelo de cimentación con un alto contenido de humedad natural, un alto Límite Líquido y un alto Índice Plástico. En aquellos suelos en donde el Índice Plástico sea mayor al 15% es posible que se produzcan cambios moderados de volumen por cambios en el contenido de humedad y que ocurren generalmente en las épocas más secas y calurosas del año.

Perdida de resistencia mecánica por lixiviación

Se producen en el suelo de cimentación que se encuentra fuertemente cementado por la presencia de sales de variado tipo. En aquellos suelos en donde la presencia de una napa freática sea importante, en donde se presente un flujo de agua subterránea y en donde el contenido de sales totales sea mayor a 15000 ppm, es posible la pérdida de resistencia mecánica por el efecto de lixiviación.

Agresión química del suelo al concreto

Se producen en el suelo de cimentación que tiene un alto contenido de sulfatos (S0₄). En aquellos suelos en donde el contenido de sulfatos (S0₄) sea mayor a 2000 ppm se considera que el suelo tendrá una agresividad química severa al concreto de las estructuras de cimentación, mientras que para valores por debajo de 1000 ppm la agresividad química del suelo se considera despreciable.

Otros fenómenos de origen geotécnico tales como colapsabilidad de los suelos, licuefacción de los suelos, pérdida de capacidad portante por presencia de nivel freático, hinchamiento de los suelos, congelamiento de los suelos, formación de oquedades en el suelo y otros; no se han tomado en cuenta para efectos de este estudio debido a que las diferentes características propias de los suelos de la ciudad de Ollantaytambo no permiten la ocurrencia de dichos fenómenos.

4.3.2. EVALUACION DE PELIGROS GEOTECNICOS

Los peligros de origen geotécnico de mayor incidencia en la ciudad de Ollantaytambo y áreas adyacentes, se dan por las razones siguientes:

- Falla por corte y asentamiento del suelo (Capacidad Portante)
- Cambios de volumen por cambios en el contenido de humedad
- Perdida de resistencia mecánica por lixiviación
- Agresión del suelo al concreto

Para la evaluación de la ocurrencia de los peligros geotécnicos en la ciudad de Ollantaytambo se ha tomado en cuenta los resultados obtenidos en la geotecnia del presente estudio, siendo de especial importancia la zonificación de la clasificación de suelos, de la capacidad portante de los suelos. Con base a dicha información y las restricciones establecidas en el ítem 4.4.1. se determinan las zonas en el área de estudio con ocurrencia variada de peligros geotécnicos.

4.3.3. ZONIFICACIÓN DE PELIGROS GEOTECNICOS

La zonificación de peligros de origen geotécnico para la ciudad de Ollantaytambo, se han establecido 04 zonas de acuerdo a la descripción siguiente:

a) Zona de Peligro Bajo

Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente suave sin nivel freático, la capacidad portante del terreno es marcadamente mayor a 1.50 Kg/cm², no hay variación de volumen por cambios en el contenido de humedad, el suelo no es agresivo al concreto y no hay pérdida de resistencia mecánica por lixiviación. En estos suelos la disminución de la capacidad portante por efecto sísmico es baja y la amplificación de las ondas sísmicas es baja a media. En esta zona no ocurren fenómenos geotécnicos de gran magnitud por lo que se le considera de un Peligro Bajo.

b) Zona de Peligro Medio

Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente suave a moderada sin nivel freático, la capacidad portante del terreno se encuentra entre 1.00 Kg/cm² a 1.50 Kg/cm², no hay variación importante de volumen por cambios en el contenido de humedad, el suelo no es agresivo al concreto y no hay pérdida de resistencia mecánica por lixiviación. En estos suelos la disminución de la capacidad portante por efecto sísmico es media y la amplificación de las ondas sísmicas es media a alta. En esta zona ocurren fenómenos geotécnicos de poca magnitud por lo que se le considera de un peligro medio.

c) Zona de Peligro Alto

Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente suave a fuerte sin nivel freático y cauces de ríos, quebradas y áreas adyacentes donde se tiene nivel freático, la capacidad portante del terreno se encuentra menores de 1.00 Kg/cm², no hay variación importante de volumen por cambios en el contenido de humedad en los suelos granulares pero en los suelos finos este efecto es moderado, el suelo no es agresivo al concreto y no hay pérdida de resistencia mecánica por lixiviación. En estos suelos la disminución de la capacidad portante por efecto sísmico es alta y la amplificación de las ondas sísmicas es alta. En esta zona ocurren fenómenos geotécnicos de media magnitud por lo que se le considera de peligro alto.

d) Zona de Peligro Muy Alto

Son aquellas áreas donde el terreno es de pendiente fuerte a muy fuerte sin nivel freático y cauces de ríos, cárcavas, quebradas, laderas muy empinadas de ríos y quebradas, rellenos de cauces antiguos y áreas adyacentes donde se tiene nivel freático, la capacidad portante del terreno es menor a 1.00 Kg/cm², no hay variación importante de volumen por cambios en el contenido de humedad en los suelos granulares pero en los suelos finos este efecto es importante, el suelo es agresivo al concreto y hay pérdida de resistencia mecánica por lixiviación. En estos suelos la disminución de la capacidad portante por efecto sísmico es muy alta y la amplificación de las ondas sísmicas es muy alta. En esta zona ocurren fenómenos geotécnicos de gran magnitud por lo que se le considera de peligro muy alto.

4.4. MAPA DE PELIGROS MULTIPLES

4.4.1. ZONIFICACION DE PELIGROS MULTIPLES

Tomando en cuenta la posibilidad de ocurrencia simultánea de los fenómenos de origen geológico-climático, climático y geotécnico en un lugar determinado del área de estudio que comprende la ciudad de Ollantaytambo y alrededores, se ha preparado el mapa de zonificación de peligros múltiples (MAPA Nº 10), donde resaltan los peligros climáticos asociados a los peligros climático-geológicos.

a) Zona de Peligro Muy Alto

Corresponde a una franja cercana al río Patacancha y los bordes del río Vilcanota. En efecto, el río Patacancha puede alcanzar un caudal máximo de 67.61 m³/seg en un periodo de 50 años y puede inundar las inmediaciones cercanas al cauce. Igualmente, este sector sería el más afectado en caso de ocurrencia de un aluvión como consecuencia de un desembalse que ocurriese en la parte alta de Patacancha donde existen deslizamientos. Estos aluviones se hacen más peligrosos por que los puentes existentes causarían nuevos represamientos.

El río Vilcanota presenta áreas de peligro muy alto a inundación debido a los caudales de 716.90 m³/seg para un retorno de 100 años, y que coincide con áreas identificadas como tal a partir de los datos geológicos.

b) Zona de Peligro Alto

Se ha determinado una franja paralela a la zona de peligro muy alto y corresponde en el caso del río Patacancha al área paralela al río y que alcanza la vía de acceso hacia la estación del ferrocarril más la estación ferroviaria (**Mapa Nº 10**). El fenómeno que se produciría en esta zona es una inundaciones debido a aluviones que como en casos anteriores son el resultado de deslizamientos que represan el cause y luego desembalsan.

En el caso del río Vilcanota corresponde a una franja mas ancha a la zona de peligro muy alto, y en este caso se ha deducido de evidencias geológicas de campo, de inundaciones antiguas que tal vez pueden ser mayores a los 100 años.

c) Zona de Peligro Medio

Hemos definido esta zona en relación a la calidad de los suelos ya que estos en general muestran características aceptables a buenas. Se trata del sector de Mascabamba, Este de Ollantaytambo, donde los suelos tienen una capacidad portante que varía de 0.5 a 1.0 Kg/cm2. Además, en esta zona converge un área de peligro medio a bajo a inundaciones del río Vilcanota.

En la margen izquierda del río Vilcanota, sector de Chocana se tiene otra área de peligro medio y es debido principalmente a inundaciones del río Vilcanota cuyos argumentos vienen de datos geológicos de campo. Finalmente, la margen derecha del río Patacancha, sector de Araqhama y la parte baja de las ruinas incas de Ollantaytambo (Plaza Manyaraqui), es considerado como de peligro medio debido a que puede ser afectado por inundaciones debido a aluviones de mayores dimensiones, como el ocurrido en el periodo inca.

d) Zona de Peligro Medio a Bajo

Son aquellas que presentan buenas características mecánicas de los suelos y son poco o nada propensas a inundaciones tanto del río Patacancha, así como del río Vilcanota, ya que topográficamente son zonas relativamente altas por comparación a los cauces. Resalta una parte del centro histórico de la ciudad de Ollantaytambo y el sector de Huatabamba.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los peligros de origen geológico-climáticos de mayor incidencia en el área de estudio, son por deslizamientos, socavamiento, cárcavas que pueden producir aluviones. Estos se ven favorecidos por una alta pendiente del terreno, baja o pobre consistencia de los materiales, roca muy fracturada y el agua de lluvia en su acción de erosión, transporte y deposición; siendo de especial interés, los procesos que ocurren en las laderas empinadas de la quebrada Patacancha.

En este contexto la ciudad de Ollantaytambo tiene una ubicación que presenta algunas desventajas por situarse sobre un cono aluvial producto de aluviones antiguos proveniente de la quebrada Patacancha, los que pueden seguir presentándose y poniendo en peligro la ciudad.

- 2. Los peligros de origen climático de mayor incidencia en el área de estudio son las inundaciones, que afectan por tramos ambas márgenes del río Patacancha y margen izquierda del río Vilcanota. En estas márgenes se ubican viviendas y terrenos de cultivo razón por la cual se consideran como zonas de peligro alto. El peligro de inundación se puede incrementar por la presencia de 3 puentes (carretera Occobamba, entrada al Conjunto Arqueológico Ollantaytambo, paso de vía ferroviaria), que pueden servir como zonas de represamiento y taponamiento, razón por la cual son considerados como puntos críticos.
- 3. El tamaño considerable de la cuenca puede concentrar un volumen de escorrentía que supere fácilmente la capacidad de la canalización, pues lluvias con períodos de retorno de 50 años, pueden ocasionar desbordamientos y consiguientes inundaciones en áreas adyacentes del tramo canalizado que atraviesa la ciudad. Estas inundaciones afectarían las márgenes del río Patacancha, donde se sitúan viviendas, terrenos de cultivo, así como restos arqueológicos incas.
- 4. La ciudad de Ollantaytambo esta experimentado un acelerado proceso de crecimiento urbano asociado al turismo, debido a la construcción o adecuación de viviendas rusticas como hospedajes que se ubican especialmente en las márgenes del río Patacancha y muchas están en las zonas de peligro muy alto ó alto.
- 5. Los fenómenos de origen geotécnico de mayor incidencia en el área de estudio son falla por corte y asentamiento del suelo (Capacidad Portante), cambios de volumen por cambios en el contenido de humedad, perdida de resistencia mecánica por lixiviación y agresión química del suelo al concreto. Otros fenómenos tales como colapsabilidad de los suelos, licuefacción de los suelos, pérdida de capacidad portante por presencia de nivel freático, hinchamiento de los suelos, congelamiento de los suelos y formación de oquedades en el suelo; no se producen debido a las características propias de los suelos del área de estudio.
- 6. Los suelos predominantes en la ciudad de Ollantaytambo sector urbano y zona de expansión son suelos granulares compuestos por gravas tales como GP (Grava mal graduada con arena), GM (Grava limosa con arena), GM-GC (Grava limo arcillosa con arena) con presencia de bolonería en algunos casos. Excepto en el sector Lomadas (Compone) donde se encuentra CL-ML (Arcilla limo arenosa) y el sector Huayronccoyoc pampa donde se encuentran ML (Limo inorgánico con arena).

7. La ciudad de Ollantaytambo se ha dividido en 04 niveles de peligrosidad (Mapa de zonificación de peligros múltiples) en función a la ocurrencia de peligros de origen geológico-climático, geotécnico y climático; según la descripción siguiente:

a) Zona de Peligro Muy Alto

Corresponde a una franja cercana al río Patacancha y los bordes del río Vilcanota, donde la peligrosidad está caracterizada a caudales máximos de lluvias (50 años) que producirían inundaciones y además aluviones.

b) Zona de Peligro Alto

Se ha determinado una franja paralela a la zona de peligro muy alto, tanto en el río Patacancha, así como en el Vilcanota, donde las características de peligrosidad se dan por caudales máximos de 100 años, en el caso de Patacancha también por aluviones. Aquí se consideran además argumentos de geología de campo sobre inundaciones antiguas que han afectado la zona y pueden ser mayores a los 100 años.

c) Zona de Peligro Medio

Corresponde a zonas donde los suelos tiene características portantes de 0.5 a 1.0 Kg/cm2, y a inundaciones del río Vilcanota ó aluviones mayores en el río Patacancha.

d) Zona de Peligro Medio a Bajo

Son aquellas que presentan buenas características mecánicas de los suelos y son pocos o nada propensos a inundaciones tanto del río Patacancha, así como del río Vilcanota.

RECOMENDACIONES

- 1. Respetar la faja marginal de la quebrada Patacancha y río Vilcanota mediante la dación de ordenanzas municipales.
- 2. Prohibir la construcción de viviendas dentro del área arqueológica inca o histórica, por ser áreas intangibles por ley.
- 3. Defensa ribereña del río Patacancha a lo largo de la quebrada del mismo nombre, así como la restauración o construcción de muros de contención faltantes en la ciudad de Ollantaytambo, respetando las fajas marginales. Restauración y/o construcción de muros de contención en ambas márgenes del río Vilcanota.
- 4. Elaborar proyectos de obras hidráulicas, con el fin de aliviar los peligros por inundación y aluvión.
- 5. Forestación y reforestación con especies nativas en toda la longitud del cauce del río Patacancha, así como en las laderas del valle Patacancha.
- 6. Un factor que se debe evitar es la ejecución de cortes en el talud de ingreso (sector Este de cono aluvial) a la ciudad de Ollantaytambo, tanto para la ampliación de la carretera como en la construcción de viviendas, ya que la inestabilidad de laderas y remoción de masa detrítica, incrementarían los fenómenos de origen geológico-climático.

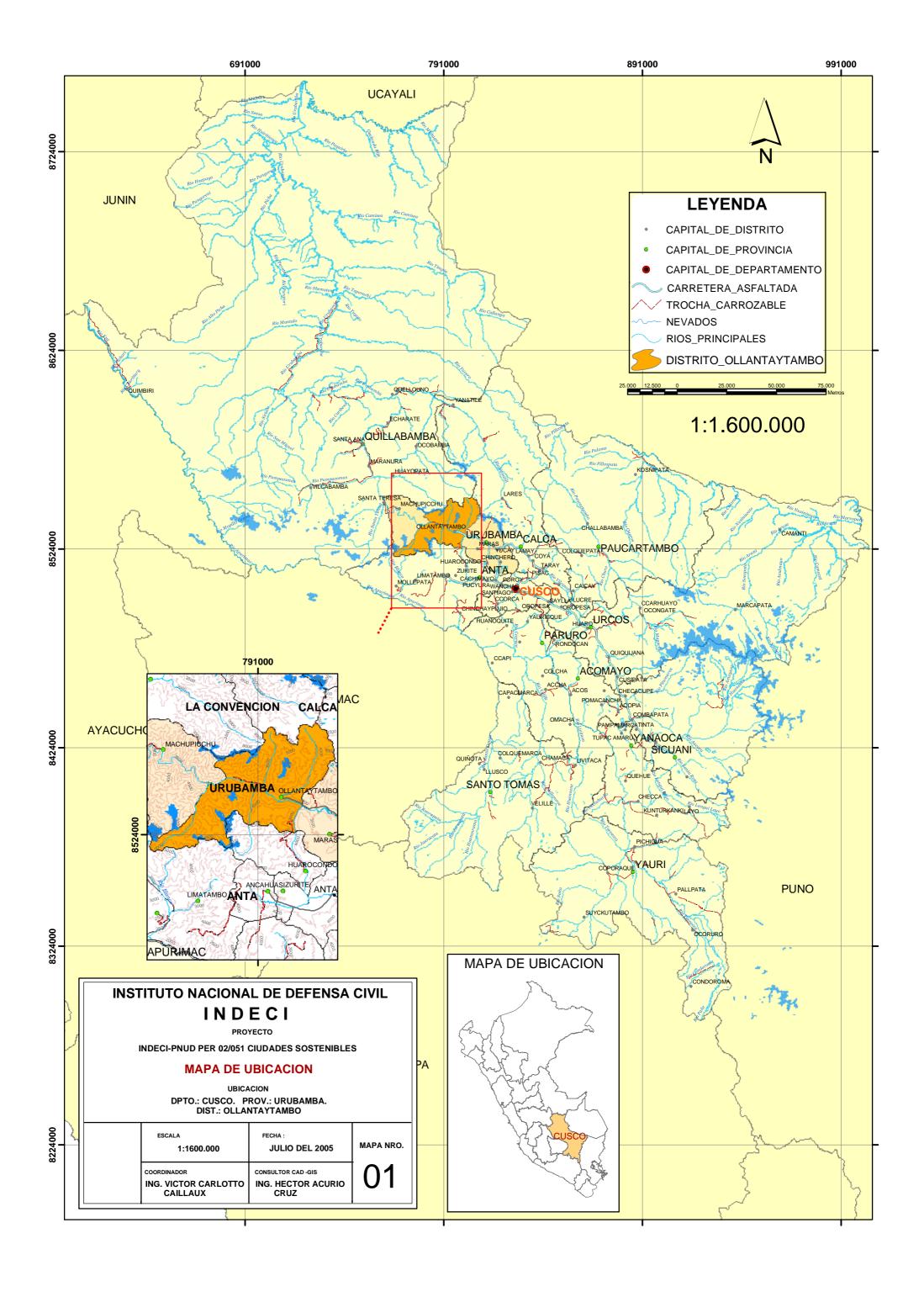
PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

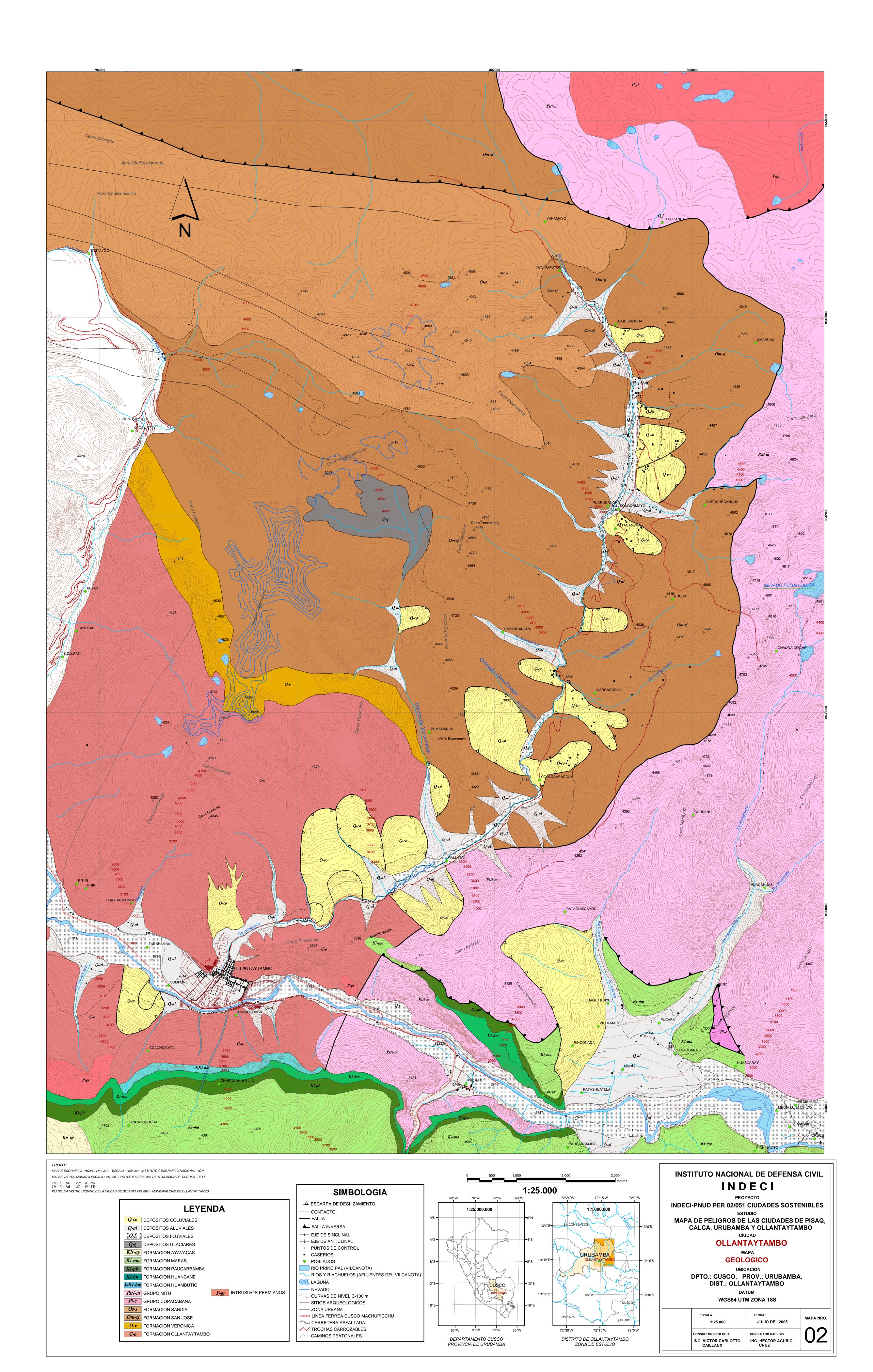
- 7. La inestabilidad de las laderas de los cerros se incrementa por la actividad humana, debido a la extracción de materiales de construcción mediante canteras, así como con la ejecución de cortes en carreteras principalmente, y en menor proporción debido al manejo inadecuado de los suelos como terrenos de cultivo ya que el regadío se hace por inundación, razón por la cual se recomienda la prohibición de cualquier actividad relacionada a la inestabilidad de laderas.
- 8. Elaboración de proyectos de obras de estabilización (geotécnicos) de laderas de la quebrada Patacancha con relación a la erosión de cauce de ríos, erosión superficial, derrumbes, deslizamientos, cárcavas, etc.
- 9. Realizar estudios de evaluación geodinámica y monitoreo a detalle de la sub-cuenca Patacancha y Vilcanota (Zona Valle Sagrado de los Incas).
- 10. Realizar la evaluación de impacto ambiental, incluyendo los peligros geodinámicos en los restos arqueológicos incas.
- 11. Considerar las pautas técnicas para orientar el proceso de construcción de edificaciones, de acuerdo a las características de los suelos encontrados en la ciudad de Ollantaytambo. Esto con la finalidad de que las construcciones estén preparadas para afrontar la eventualidad de un sismo y sus consecuencias, reduciendo así su grado de vulnerabilidad.
- 12. Ollantaytambo es una ciudad Inca que se conserva hasta la actualidad. Su sistemas de canales de irrigación y su andenes que rodean todo el cono aluvial son parte de este sistema ingenieril, uno de los mas impresionantes y conservados hasta la actualidad. Por lo tanto tratar el tema de expansión urbana es muy difícil por la intangibilidad de este monumento cultural. Sin embargo, en la actualidad se ve que muchas construcciones modernas van deteriorando el centro histórico, en tanto que los andenes incas son espacios utilizados por los pobladores para la construcción de sus casas que en la mayoría de los casos son de adobe, como es el caso de la zona de san Isidro. Todo lo anterior puede pasar desapercibido pero los nuevos hoteles, van apareciendo en aumento, a pesar de ser una zona arqueológica. En tanto se de la definición de zonas intangibles por la parte arqueológica, por simple lógica las zonas de expansión urbana serian aquellas calificadas como de peligro múltiple medio a bajo que en Ollantaytambo son pocas. En conclusión no podemos a partir de estos estudios definir zonas de expansión urbana dentro de la ciudad de Ollantaytambo.
- 13. La zona de expansión urbana de Huayronqoyoq muestra valores de peligro muy alto y Alto debido por un lado a las inundaciones del río Vilcanota y por otro lado debido a la baja capacidad portante de los suelos, por lo tanto se deben considerar estudios para obras de encauzamiento y mejoras en las construcciones, y así reducir la vulnerabilidad de esta zona.
- 14. En caso de Aluvión que pueda venir por la quebrada Patacancha que es uno de los peligros mayores en Ollantaytambo, se debe tener planes y rutas de escape y refugio además de alarmas. Si bien el presente estudio no establece estos planes, pero podemos plantear de manera preliminar ciertas zonas de escape, por ejemplo: los habitantes del centro histórico (Este del río Patacancha) pueden tomar como zona de escape la carretera de acceso que viene de Urubamba. Los habitantes que viven en la zona Oeste de la ciudad incluyendo la zona de San Isidro deben tomar como zona de escape la carretera que va hacia Quillabamba.

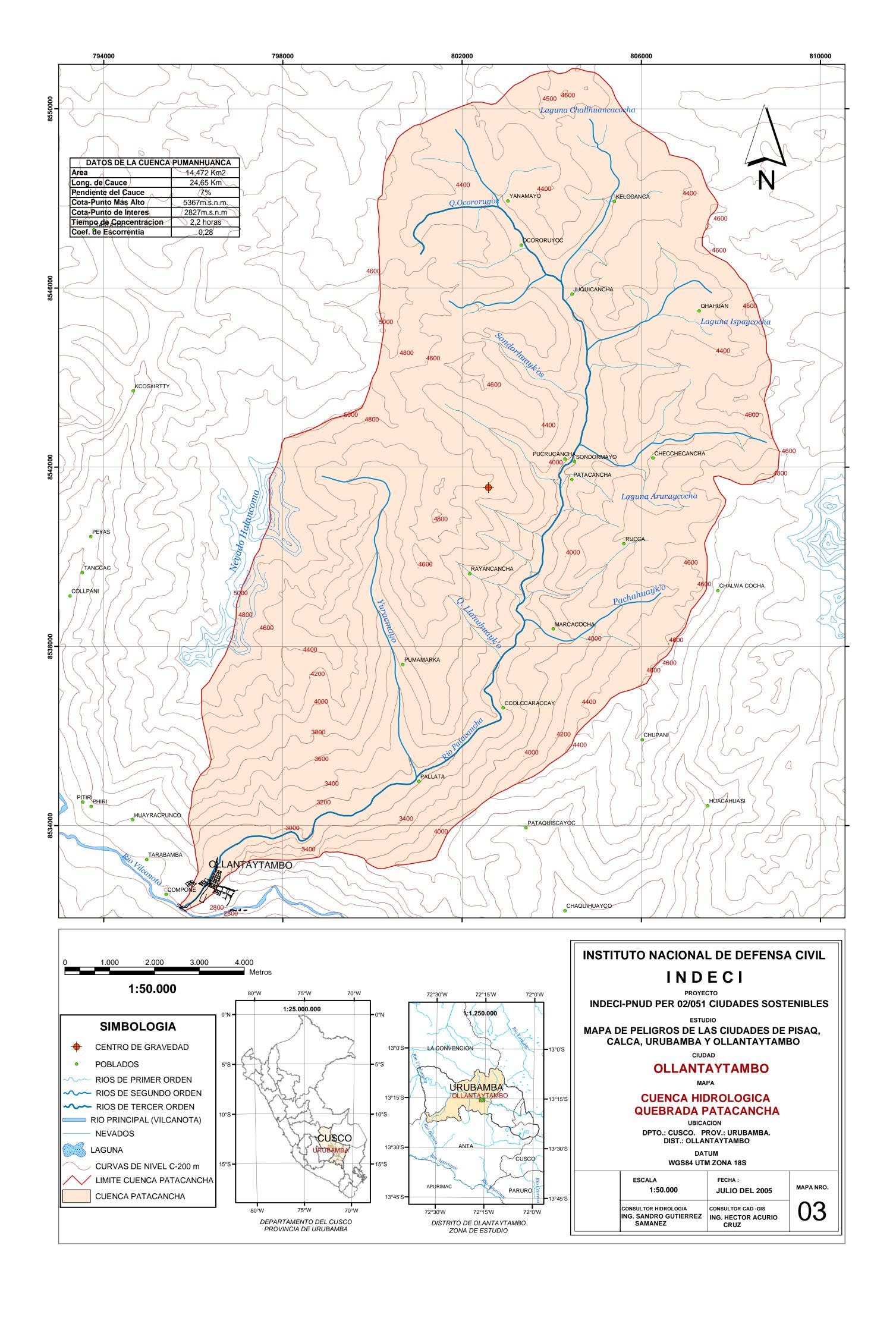
BIBLIOGRAFIA

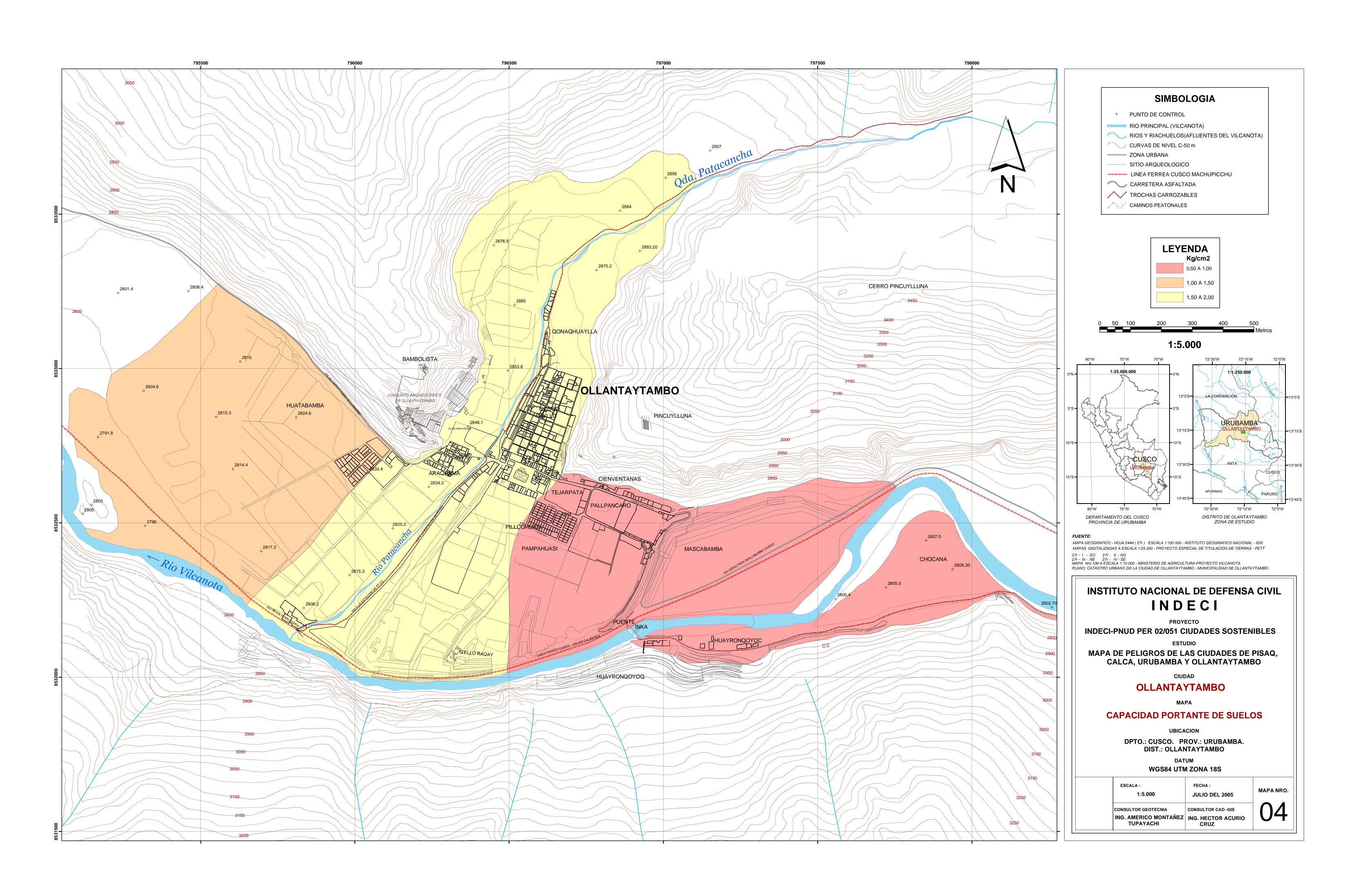
- Bowles, J.E. (1996). Foundation analysis and design. New York: Mc. Graw-Hill Book co.
- Casaverde, L. y Vargas, J. (1980). Zonificación sísmica del Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Braja M. Das (2001). "Principios de ingeniería de Cimentaciones". Thomson.
- Candia, F; Carlotto, C. (1985). Estudio geológico de la Zona Huambutio-Lamay. Tesis Titulo Profesional UNSAAC.
- Carlotto, V.; Jaillard, E.; Mascle, G. (1992). Relación entre Sedimentación, Paleogeografía y Tectónica de la Región de Cusco (Sur del Perú) entre el Jurásico superior-Paleoceno. Boletín Sociedad Geológica del Perú, Volumen 83, p. 01-20.
- Carlotto, V.; Carlier, G.; Cárdenas, J.; Gil, W.; Chávez, R. (1996). The Red Bed of the San Jeronimo Group (Cuzco-Peru) Marker of the Inca 1 Tectonic Event. 3th Intern. Symp. And. Geodyn.-ISAG, Saint-Malo, France 1996, ORSTOM ed. p. 303-306.
- Carlotto, V.; Gil, W.; Cárdenas, J.; Chávez, R.; y Vallenas, V. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca-Boletín Nº 65 Serie A: Carta Geológica Nacional. (Hojas 27r y 27s). INGEMMET. Lima-Peru.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Bahlburg, H.; Westervoss, E.; Flores, T.; Cerpa, L. (2004). La formación Ollantaytambo evidencia de un substrato volcano-sedimentario ordovícico en el Altiplano y borde sur de la Cordillera Oriental del sur del Perú. XII Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú 2004, Resúmenes Extendidos, p 416-419.
- Coduto, D.P. (1994). Foundation desing: principles and practices. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Crespo, C. "Mecánica de Suelos y Cimentaciones". Limusa, Mexico.
- Chávez, R. (1995). Geología, Estratigrafía y tectónica de la Región de Calca-Urubamba. Tesis Titulo Profesional UNSAAC.
- Delgado, D. (2000). "Ingeniería de Cimentaciones, Fundamentos e Introducción al Análisis Geotécnico". ALFAOMEGA-ECI.
- Hunt, R.E (1984). Geothecnical engineering investigation manual. New York; Mc. Graw Hill.
- Kalafatovich, C. (1957). La edad de las calizas de la formación Yuncaypata. Bol. Soc. Geol. del Perú. Tomo 32, Lima.
- Kalafatovich, C. (1977). Deslizamientos en el valle del rio Urubamba. Sep. Revista Universitaria Nro. 131. Cusco.
- Kuroiwa, J. (2002). "Reducción de Desastres" Viviendo en armonía con la naturaleza. Lima.
- Marocco, R. (1978). Estudio Geológico de la Cordillera de Vilcabamba. Bol. Del Instituto de Geología y Minería-4. 157 p. Lima.
- Michelena, R. "Mecánica de Suelos Aplicada" Libro 5 CIP.
- Naval Facilities Engineering Command (1986). Design manual: soil mechanics, foundations and earth structures (NAVFAC DM-7). New York: Departament of the Navy.
- Norma E 050 (1997). Suelos y Cimentaciones. R. N. C.
- Peck y R. Hamson (2002). "Ingeniería de Cimentaciones", Limusa, Mexico.
- Rico A. y Del Castillo, H. La Ingeniería de Suelos en las vías Terrestres. Limusa. México.
- Sowers & Sowers. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones", Limusa.
- Terzaghi, K. Peck, R. Mesri, G (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- UNSACC- FIC. Proyecto de investigación Evaluación Física, Química y mecánica de los morteros Inca, utilizado en los muros de la ciudadela de Ollantaytambo.

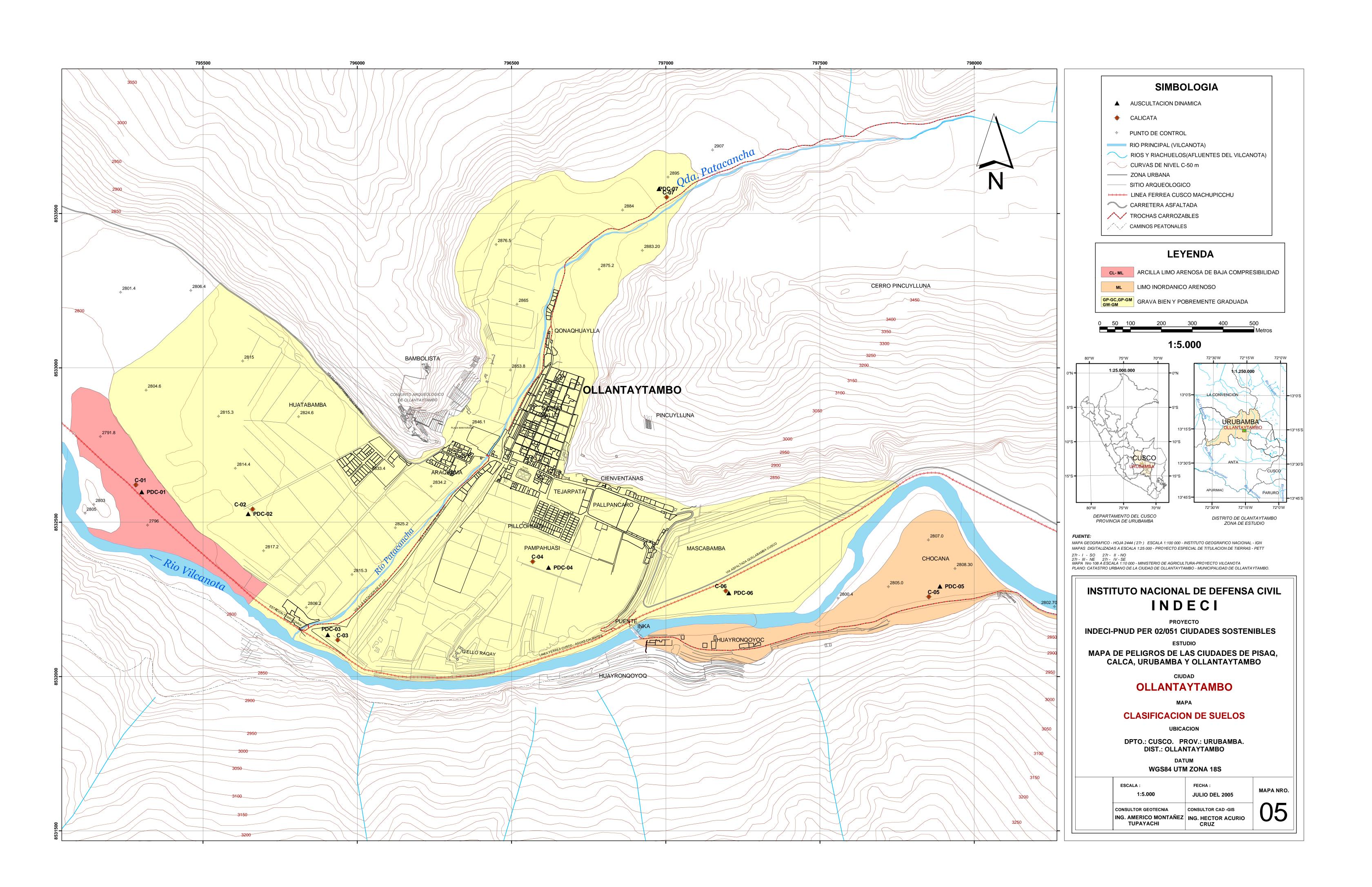
MAPAS

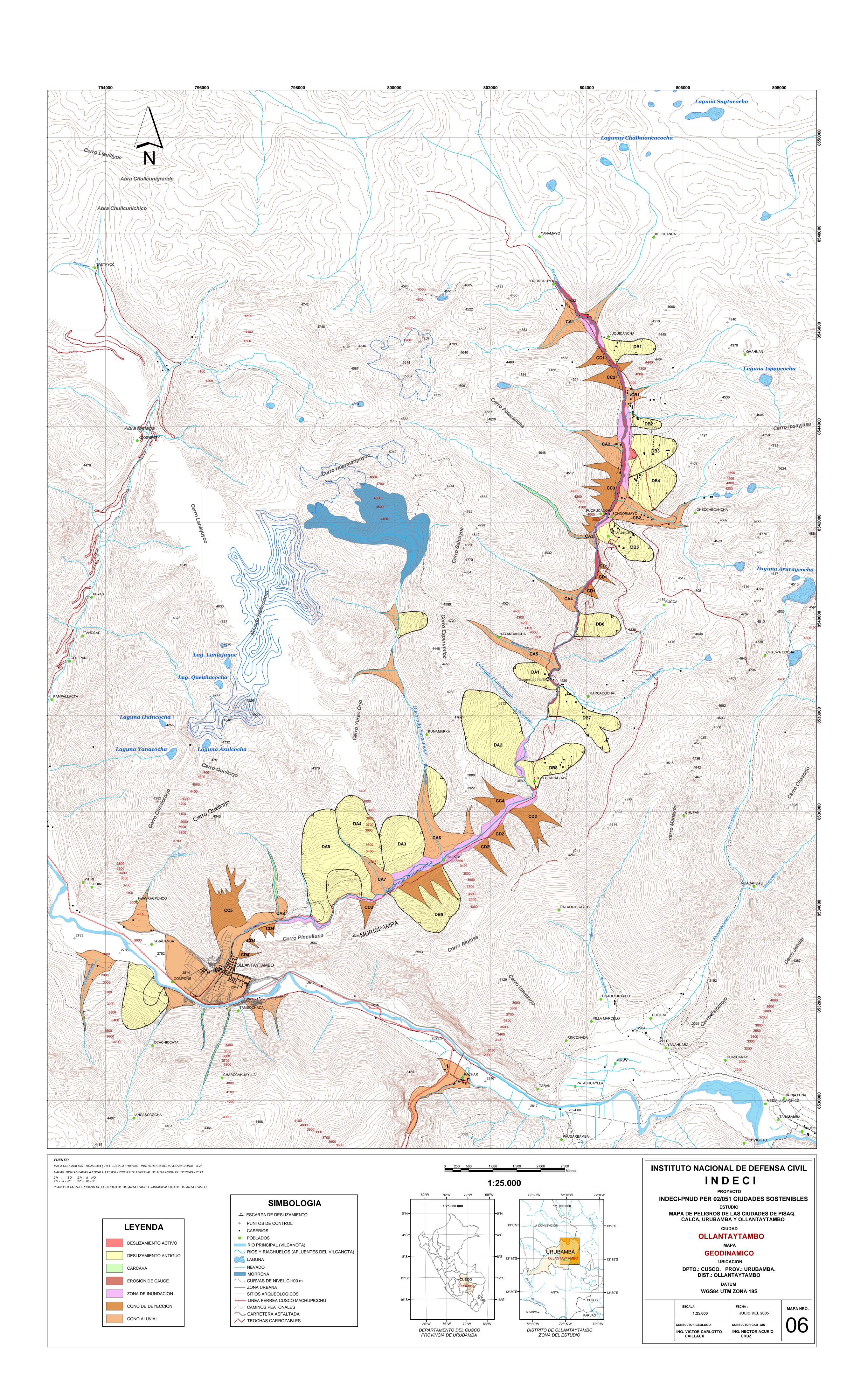


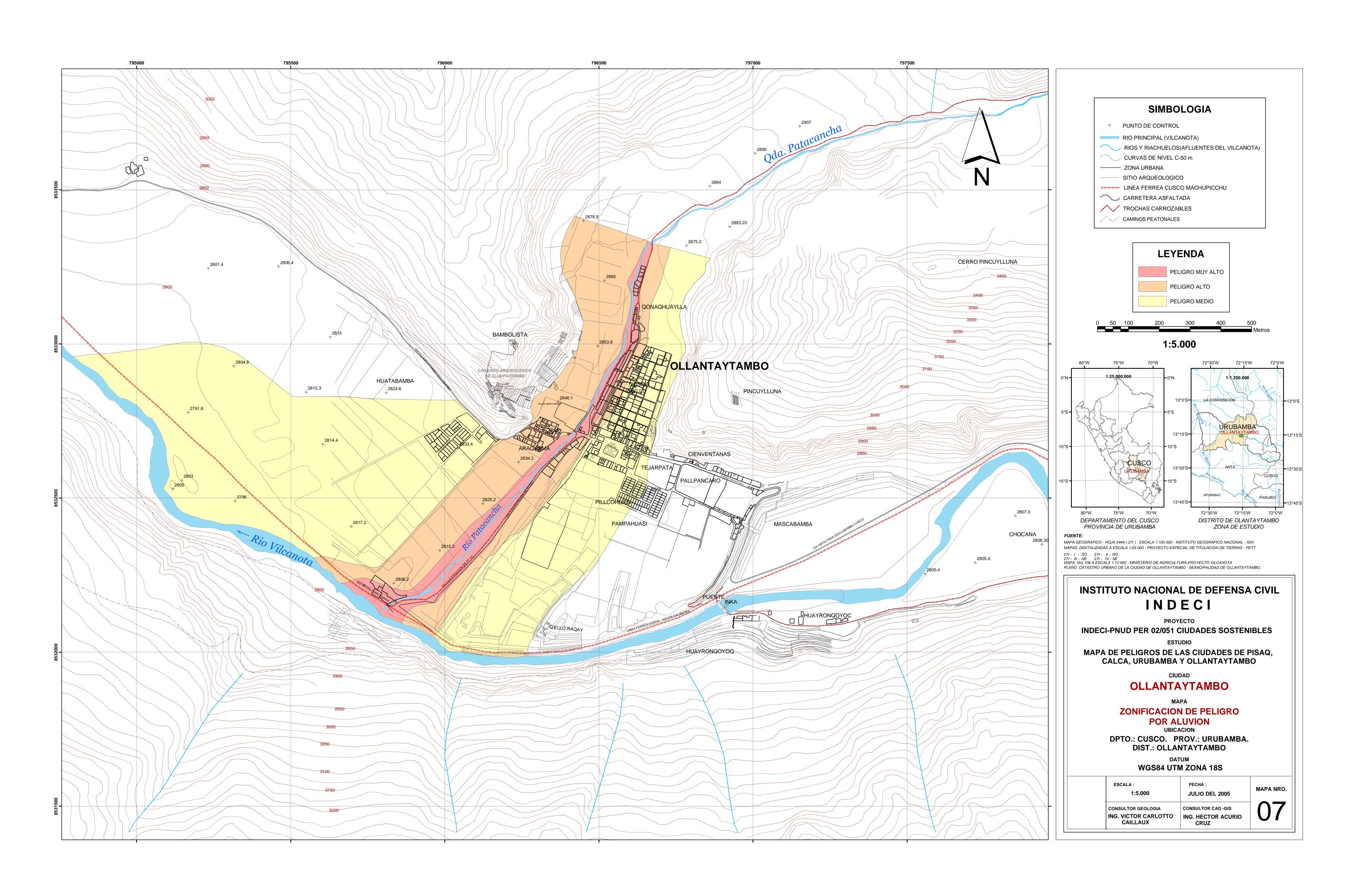


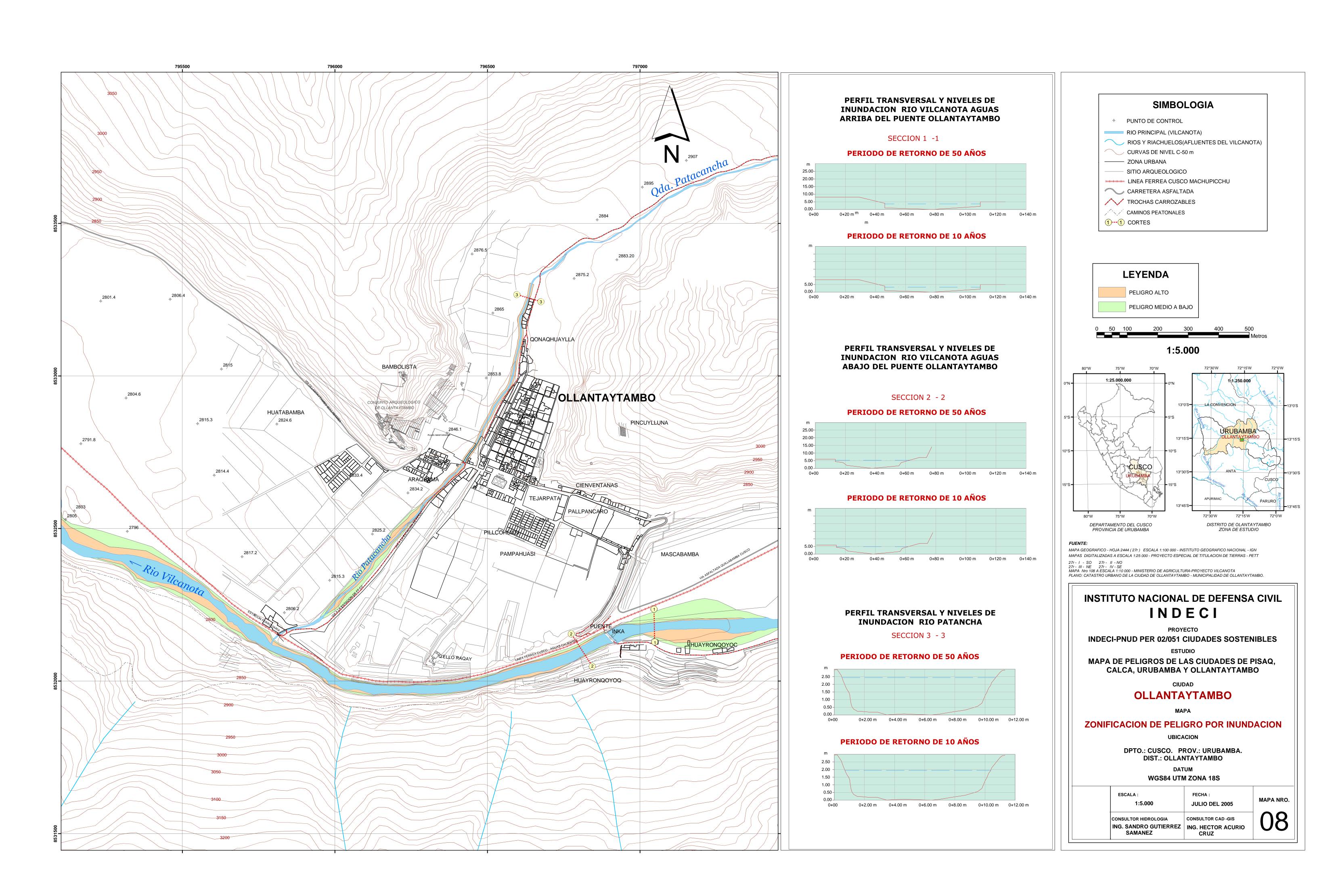


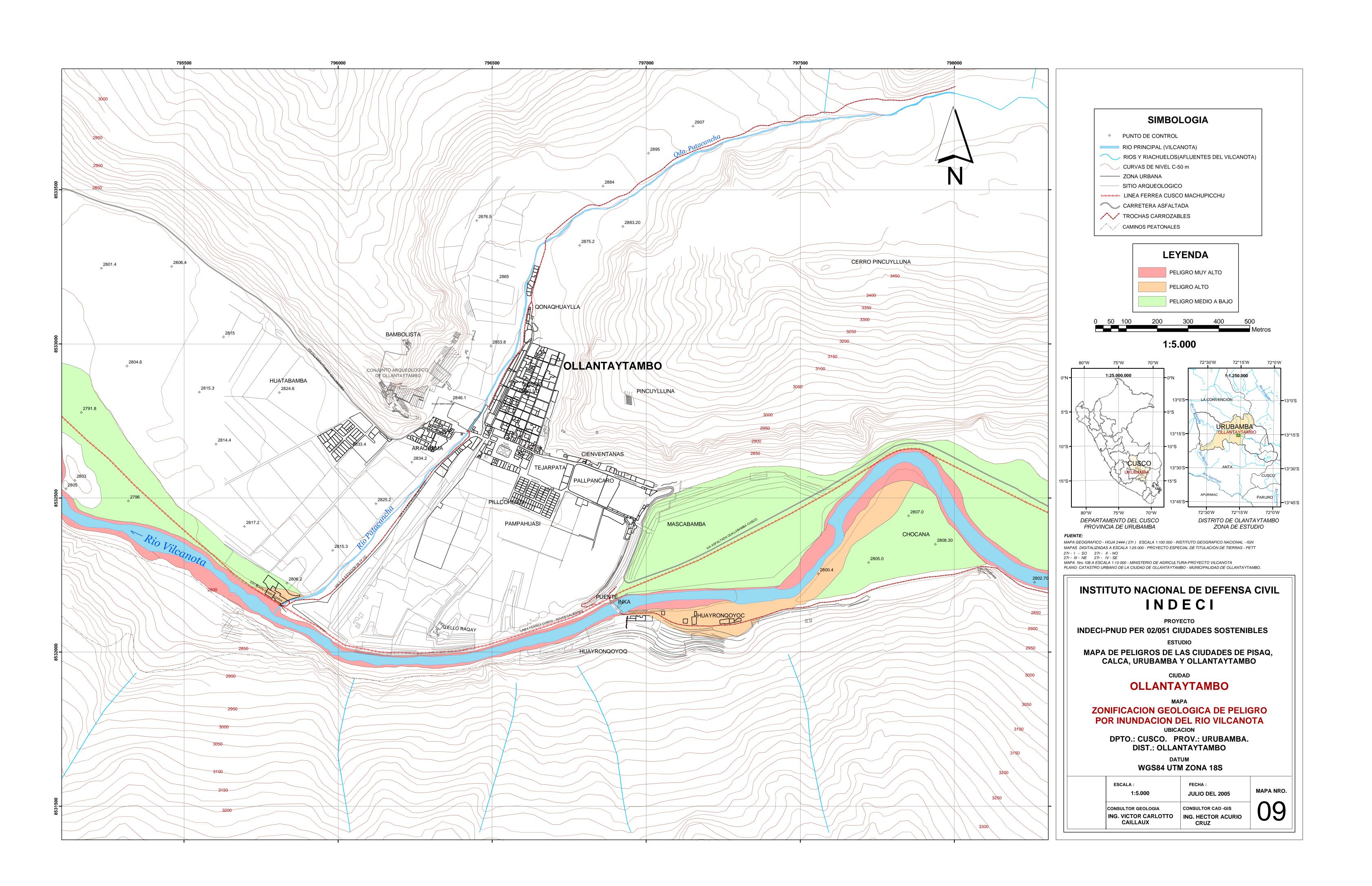


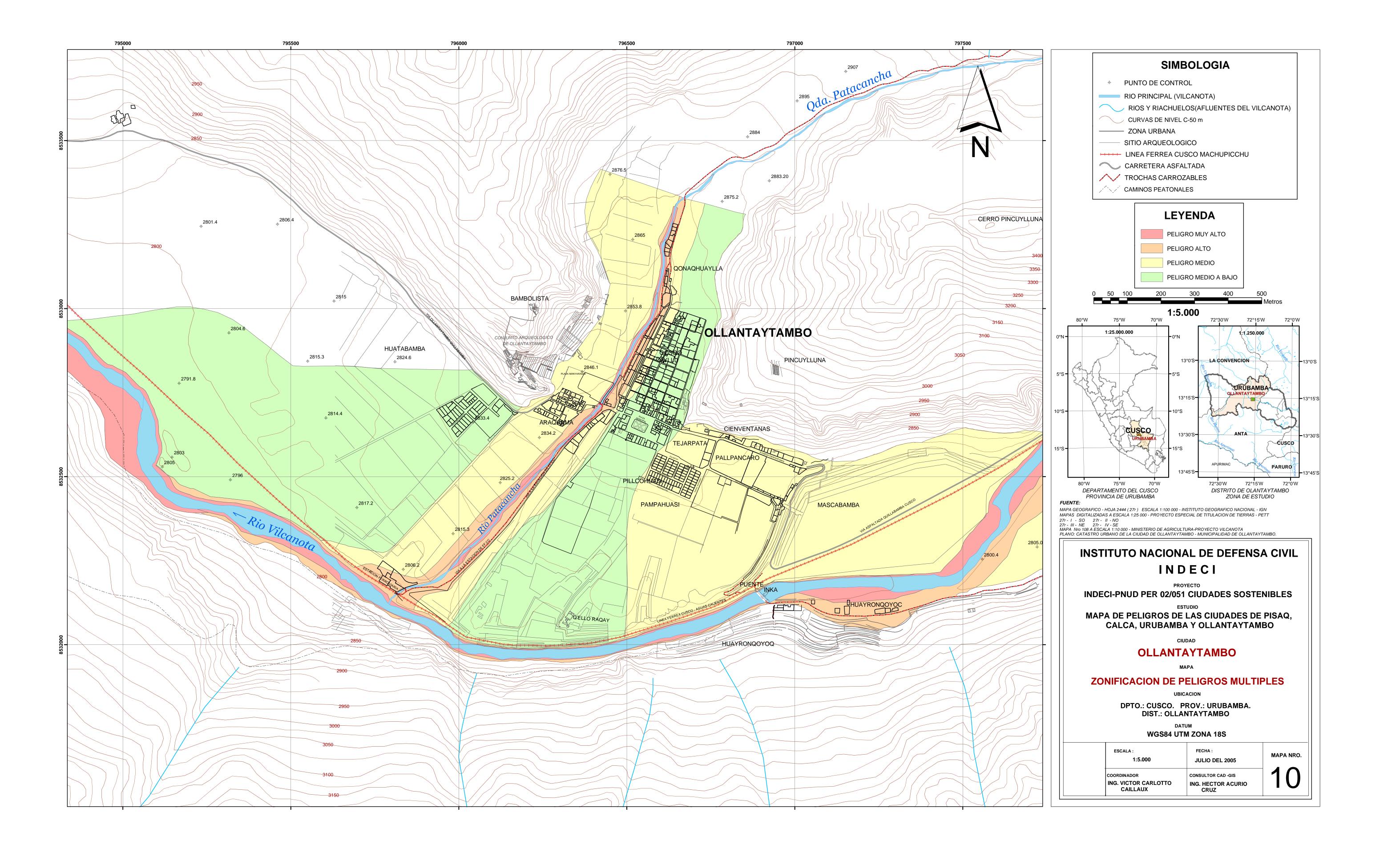












ANEXO Nº 01: HIDROLOGIA

ANEXO Nº 02: UBICACIÓN DE CALICATAS Y AUSCULTACIONES

ANEXO Nº 03: FICHAS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

ANEXO N° 04: PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO

ANEXO N° 05: CALCULOS DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE CIMENTACIONES

ANEXO Nº 06: PANEL FOTOGRAFICO

MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE OLLANTAYTAMBO PROYECTO INDECI-PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES
Estas del deserrollo de los trobajos geológico
Fotos del desarrollo de los trabajos geológico-
geodinámico

Fotos del desarrollo de los trabajos geotécnicos

Fotos del desarrollo de los trabajos hidrológicos