



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú

Subdirección de  
Ciencias de la Tierra  
Sólida - SCTS



## **EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEODINÁMICA Y SISMICA EN EL POBLADO DE AGUAS CLARAS**

Distrito de Pardo Miguel, Provincia de Rioja  
Región de San Martín

Robert Carrillo  
Segundo Ortiz  
Hernando Tavera  
Juan Carlos Gomez

Lima - Perú  
2016

# **EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEODINÁMICA Y SISMICA EN EL POBLADO DE AGUAS CLARAS**

Distrito de Pardo Miguel, Provincia de Rioja  
Región de San Martín

Robert Carrillo<sup>1</sup>  
Segundo Ortiz<sup>1</sup>  
Hernando Tavera<sup>2</sup>  
Juan Carlos Gomez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Geodinámica

<sup>2</sup>Unidad de Sismología

Lima – Perú  
2016

## RESUMEN EJECUTIVO

El poblado de Aguas Claras se encuentra asentado sobre una terraza aluvial compuesta por materiales inconsolidados constituidos por gravas arenosas y limosas con espesores del orden de 10 a 15 metros. El substrato rocoso está conformado por rocas calizas afectadas por procesos de meteorización química que causa su continua erosión, dando lugar a la presencia de cavidades y cuevas formadas por rocas kársticas. En la zona de estudio existen hasta 5 surgencias de caudal permanente a lo largo del año, lo cual indica la presencia de aguas subterráneas que fracturan superficialmente al estrato rocoso.

Se han identificado escenarios de colapso de rocas en el interior de las cavernas debido a la disolución de carbonatos en calizas, lo cual ocasionó el desplome súbito de algunas galerías. En la cueva Tishuca y a 240 m al sureste de su entrada principal y 15 m por encima, se identificó la existencia de una cámara de colapsos. Las vibraciones del subsuelo y sonidos (parecidos a estallidos) percibidos por pobladores, así como la pérdida de caudal en el río Aguas Claras, se deben a colapsos de material kárstico en el interior de las cuevas. Este proceso fue mal interpretado por los pobladores, los cuales asumieron erróneamente que se trataban de sismos.

Históricamente, el poblado de Aguas Claras ha sido afectado por la ocurrencia de sismos, deslizamientos y colapso de rocas kársticas generadas por sismos, lluvias intensas o simplemente por la gravedad. Estos eventos probables que han afectado a los poblados no van a disminuir, pero los daños sí podrían incrementarse debido a que la población es mayor cada año. En tal sentido, es importante que las autoridades y la población identifiquen y conozcan los peligros naturales con los cuales conviven a fin de trabajar en desarrollar actividades y proyectos orientados a la gestión del riesgo para beneficio de todos los pobladores.

## ÍNDICE

### **RESÚMEN EJECUTIVO**

### ÍNDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- UBICACIÓN Y ACCESO
- 3.- ANTECEDENTES
- 4.- ESTUDIOS PREVIOS
- 5.- TOPOGRAFÍA Y CLIMA
- 6.- GEOMORFOLOGÍA
  - 6.1.- Modelo digital del terreno (MDT)
  - 6.2.- Pendientes
  - 6.3.- Unidades geomorfológicas
    - 6.3.1.- Origen tectónico
    - 6.3.2.- Origen denudacional
    - 6.3.3.- Origen deposicional
    - 6.3.4.- Origen fluvial
    - 6.3.5.- Origen kárstico
- 7.- GEOLOGÍA
  - 7.1.- Geología regional
  - 7.2.- Geología local
- 8.- GEODINÁMICA
- 9.- SISMOTECTÓNICA
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

## **1.- INTRODUCCIÓN**

El Perú se encuentra ubicado en una región de tectónica activa; es decir, propicia para la ocurrencia continua de peligros naturales como los sismos, deslizamientos y licuación de suelos, teniendo como fuente regional de origen al proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana. La actividad sísmica es muy frecuente frente a la línea de costa, alcanzado muchos de ellos magnitudes tan elevadas que causan efectos y daños importantes en ciudades costeras. En el interior del continente, la convergencia de placas produjo la formación de la Cordillera Andina y con ella, la formación de fallas tectónicas que generan importante actividad sísmica local, tal como ocurre en la región de San Martín con el sistema de fallas de Rioja-Moyobamba. Parte de este proceso, es la formación de valles interandinos y plegamientos con presencia de suelos jóvenes y por ende inestables, propicios para el desarrollo de deslizamientos y procesos de licuación de suelos generados por lluvias o por la ocurrencia de sismos.

Por otro lado, los estudios sobre la orogenia andina sugieren que hace 8 millones de años atrás, en esta región se venía desarrollando actividad volcánica que fue interrumpida por cambios geodinámicos regionales. A la fecha vestigios de esta actividad, son la presencia de aguas termales y áreas con suelos de material kárstico, propicio para la formación de canales de agua subterránea que muchas veces colapsan generando cambios morfológicos locales de manera permanente y/o temporal.

Los procesos descritos ocurren con frecuencia en regiones como San Martín y solo su monitoreo permitirá tomar medidas preventivas para reducir el riesgo en los poblados de la región. En el presente informe, elaborado por la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida (CTS), a solicitud de la Municipalidad distrital de Pardo Miguel - Naranjos, se realiza el análisis de la actividad sísmica, geológica y geodinámica en el centro Poblado Aguas Claras a fin de evaluar el origen de las continuas vibraciones del suelo iniciadas el día 13 de febrero de 2016, en razón que llegaron a generar alarma en la población y preocupación por parte de sus autoridades. La CTS comisionó personal profesional para realizar, in situ la recolección de información a fin de elaborar un documento técnico que ayude en la toma de decisiones por parte de las autoridades para la correcta gestión del riesgo.

## **2.- UBICACIÓN Y ACCESO**

El poblado de Aguas Claras se ubica en el distrito de Naranjos – Pardo Miguel de la provincia de Rioja y región de San Martín. Sus coordenadas son, UTM 215386 E, 9367407 N y cota de 950 m.s.n.m (Figura 1). Aguas Claras cuenta con aproximadamente 1000 habitantes distribuidos de forma dispersa en 600 viviendas, contando con servicios como un puesto de salud, dos colegios (jardín y primario) y una comisaría. El acceso hacia el poblado de Aguas Claras se realiza, desde la ciudad de Lima, por vía aérea hasta Tarapoto, luego se continúa por vía terrestre, en dirección hacia el noroeste, por la carretera asfaltada Fernando Belaúnde Terry, atravesando las ciudades de Moyobamba, Nueva Cajamarca y Naranjillo.

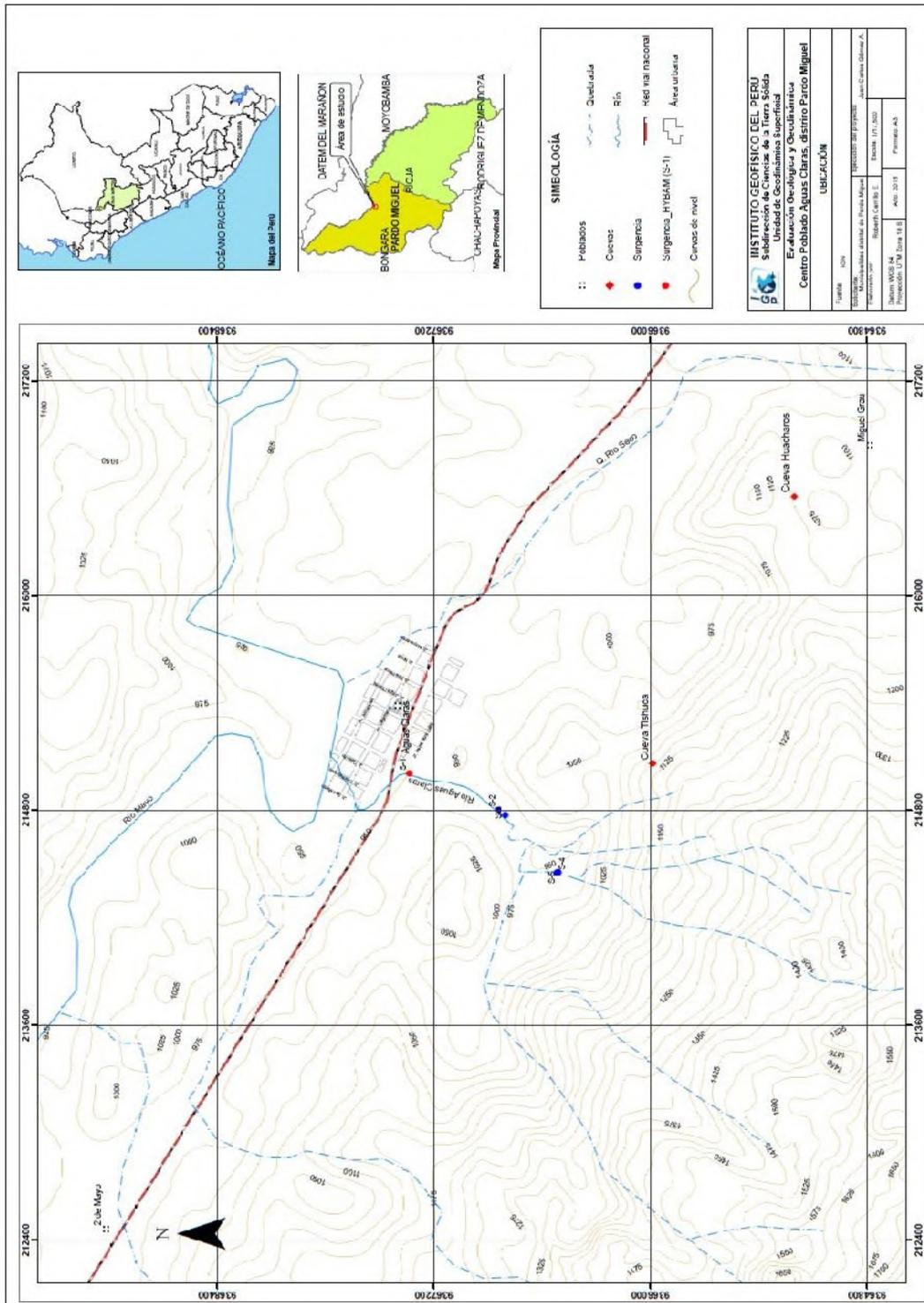


Figura 1: Mapa de ubicación del poblado Aguas Claras, distrito de Naranjos – Pardo Miguel, Rioja, San Martín

### **3.- ANTECEDENTES**

Según el Sr. Jorge Leiva (alcalde del distrito de Naranjos – Pardo Miguel), en el poblado de Aguas Claras, el día 31 de enero del 2016 se produjo la pérdida total de una de las vertientes de agua que alimenta al río Aguas Claras, para luego ir recuperándose paulatinamente e interrumpirse nuevamente, el 13 de febrero del 2016 debido, según la población, a la ocurrencia de movimientos sísmicos, lo cual generó su preocupación.

En la inspección de campo realizada por personal profesional del Instituto Geofísico del Perú (Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida) durante la primera semana de marzo 2016, se obtuvieron registros de los movimientos del suelo y/o ruidos indicados por la población, no correspondiendo a eventos sísmicos. Del mismo modo, no se identificaron evidencias en superficie sobre la dinámica de suelos, pero sí la presencia de ambientes kársticos: cuevas en las laderas de los cerros ubicados en la parte sur del área de estudio, así como la existencia de surgencias de régimen permanente a lo largo de todo el año.

Adicionalmente, los habitantes de Aguas Claras manifestaron que el río del mismo nombre y las surgencias deprimieron su caudal por períodos de 7, 12, 15 y 25 días respectivamente. Del mismo modo, indicaron que las continuas vibraciones del suelo, algunas veces de gran intensidad, originaron que el agua proveniente de los afluentes se presente con coloraciones oscuras y verdes con olor a azufre.

Sobre la ocurrencia de estos eventos, la población indica que se iniciaron en el año 2002 y se han presentado de manera constante hasta la actualidad. Del mismo modo indican que en la región es muy frecuente la ocurrencia de sismos y en épocas de lluvias, deslizamientos. En este escenario, es de esperarse que los eventos descritos se sigan repitiendo en el tiempo y es importante que la población y las autoridades coordinen y ejecuten acertadas políticas de gestión del riesgo.

#### 4.- ESTUDIOS PREVIOS

La zona subandina de la región norte del Perú, ha sido afectada en el tiempo por diversos peligros como los sismos, deslizamientos, licuación de suelos, colapsos de superficies kársticas, lluvias, entre otros, lo que ha motivado que diversas instituciones técnicas realicen estudios a fin de aportar información para la toma de medidas orientadas a la correcta gestión del riesgo. Entre los estudios más importantes se tiene a los siguientes:

**Sánchez, A. (1995). Geología del cuadrángulo de Villa Jumbillas. Boletín N° 56.**

*Serie A. Carta Geológica Nacional. INGEMMET, Lima. Incluye el cartografiado geológico a escala 1:100,000 y señala que, las rocas que conforman el basamento sobre el cual se asienta el poblado de Aguas Claras son calizas micríticas de la Formación Condorsinga del Jurásico Inferior. Asimismo, dicho documento indica que, la unidad infrayacente: Formación Chambará presenta estratificación paralela con superficies onduladas e irregulares que se presentan bastante resistentes a la meteorización química (disolución de carbonatos); sin embargo, en algunos sectores se observan abundantes cuevas y depresiones.*

**Groupe Spéléo Bagnols Marcoule (2014). Expedición Nueva Cajamarca 2014.**

*Detalla la expedición organizada por el grupo de espeleólogos de Bagnols-Marcoule (GSBM) y del Espeleo Club Andino (ECA PERU), que contó con la participación del Grupo de Pesquisas de Bambuí Espeleológicas Belo Horizonte (GBPE). Los trabajos realizados por esta delegación fueron en las cuevas que se ubican en inmediaciones de las ciudades de Nueva Cajamarca y Naranjillos, y entre las cuales resaltan las cuevas de Tishuca (situada a 1.4 km al sur del C.P Aguas Claras), Diamante (a 2.9 Km de Naranjos), Palestina Tragadero de Huamán, Samuel (ambas en el distrito de Nueva Cajamarca), entre otras.*

*El informe técnico indica que la cueva Tishuca, denominada por los pobladores como Santuario Nacional Amazonas, era una antigua colectora para drenar agua a una cuenca lateral (interpretándose que se refiere a la cuenca río Seco a la microcuenca Aguas Claras) y que presenta grandes galerías con desmoronamiento parcial. En el esquema topográfico del lugar en mención, se evidencian bóvedas de colapsos. La zona estudiada presenta 655 m de desarrollo con desniveles de 52 m.*

Finalmente, los especialistas midieron el caudal de surgencia en un manantial del río Aguas Claras ( $4.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ubicado a 395 m al sureste del poblado. En cuevas contiguas a Tishuca, se citan los tragaderos Sierra Azul (denivel -42 m) y Papua (desnivel -89 m) como cavidades verticales sin continuación, resaltando que en la última se han producido volúmenes considerables de colapsos, información que permite corroborar la ocurrencia constante de estos eventos geodinámicos en el área de estudio (Figura 2).

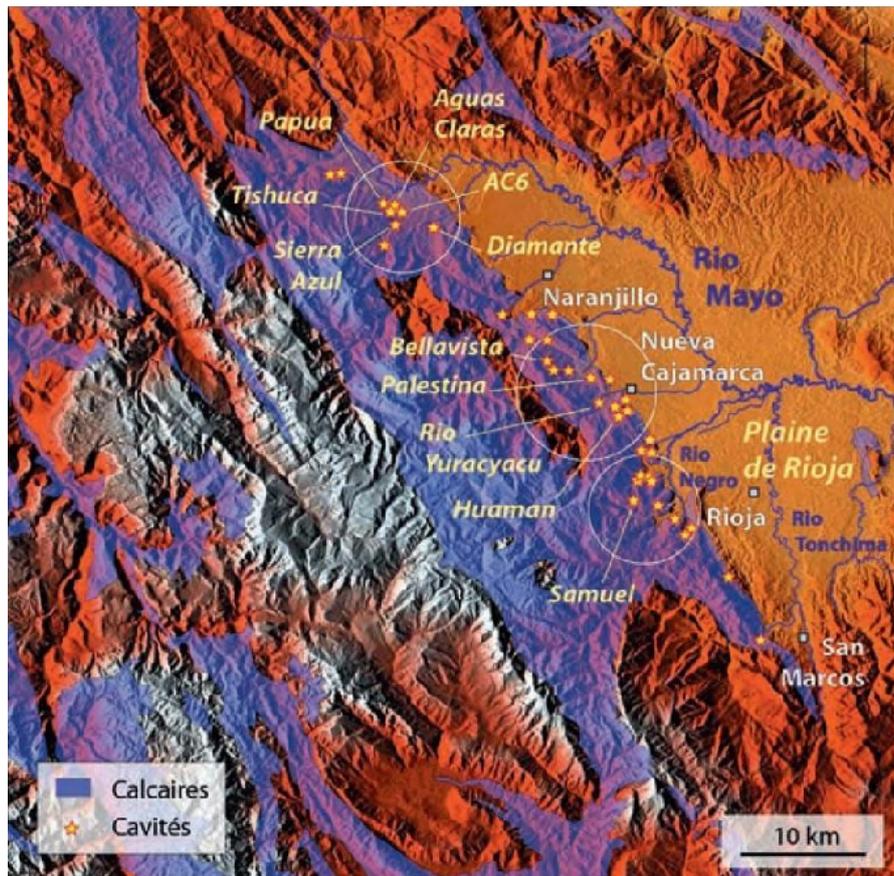


Figura 2: Cavidades exploradas sobre rocas calcáreas en Nueva Cajamarca. Se evidencia que las cuevas se presentan alineadas con rumbo NO-SE.

Fuente: WEB del grupo de espeleólogos de Bagnols-Marcoule (2014).

**Hidalgo, L (2015). Muestreo de resurgencias kársticas y recolección de espeleotemas. Publicación SO-HYBAM, Lima.** El informe indica que el Sistema de Observación HYBAM (Geodinámica, el control hidrológico y biogeoquímico de la erosión / alteración y transporte de materiales en las cuencas del Amazonas, Orinoco y el Congo) colaboró en la realización de muestreos fisicoquímicos de cinco resurgencias kársticas ubicadas en las inmediaciones de la zona de estudio

(Timbuj, Aguas Claras, Palestina, Tío Yacu, Rio Negro), todas pertenecientes a las cuencas de los ríos Huallaga y Marañón. Asimismo, el autor recolectó muestras de procesos de levantamiento tectónico, así como de paleosismos, en sedimentos y espeleotemas de cavernas (depósitos formados en las cuevas por la precipitación de carbonatos como: estalagmitas y estalactitas). Esta información permitió analizar los procesos tectónicos y climáticos en la alteración geomorfológica del paisaje.

Por otro lado, el autor indica que las surgencias representan ser las más clara evidencia sobre el desarrollo de los procesos kársticos; además, el hecho de que el análisis físico-químico permitió inferir el grado de acidez que presenta el agua en las surgencias del rio Aguas Claras. Los valores sobre los parámetros muestreados se presenta en la Tabla 1

Tabla 1: Parámetros muestreados in-situ en las surgencias del rio Aguas Claras

<b>Resurgencia</b>	<b>Latitud (°)</b>	<b>Longitud (°)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Conductividad (uS s-1)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Ph</b>
Aguas Claras	-5.718	-77.753	13/06/15	373	12.6	7.6

## 5.- TOPOGRAFIA Y CLIMA

Para la zona del poblado Aguas Claras no se cuenta con topografía de detalle, por lo que se ha utilizado como información la del Modelo Digital de Elevación (MED), con resolución de 30 m descargado de [www.astergdem.com](http://www.astergdem.com). Esta información ha sido georeferenciada al Sistema de Información Geográfica (SIG), para luego trabajar en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) y datum WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial 1984), Zona 18 S. El producto utilizado es un plano topográfico a escala 1:25,000 (Figura 3).

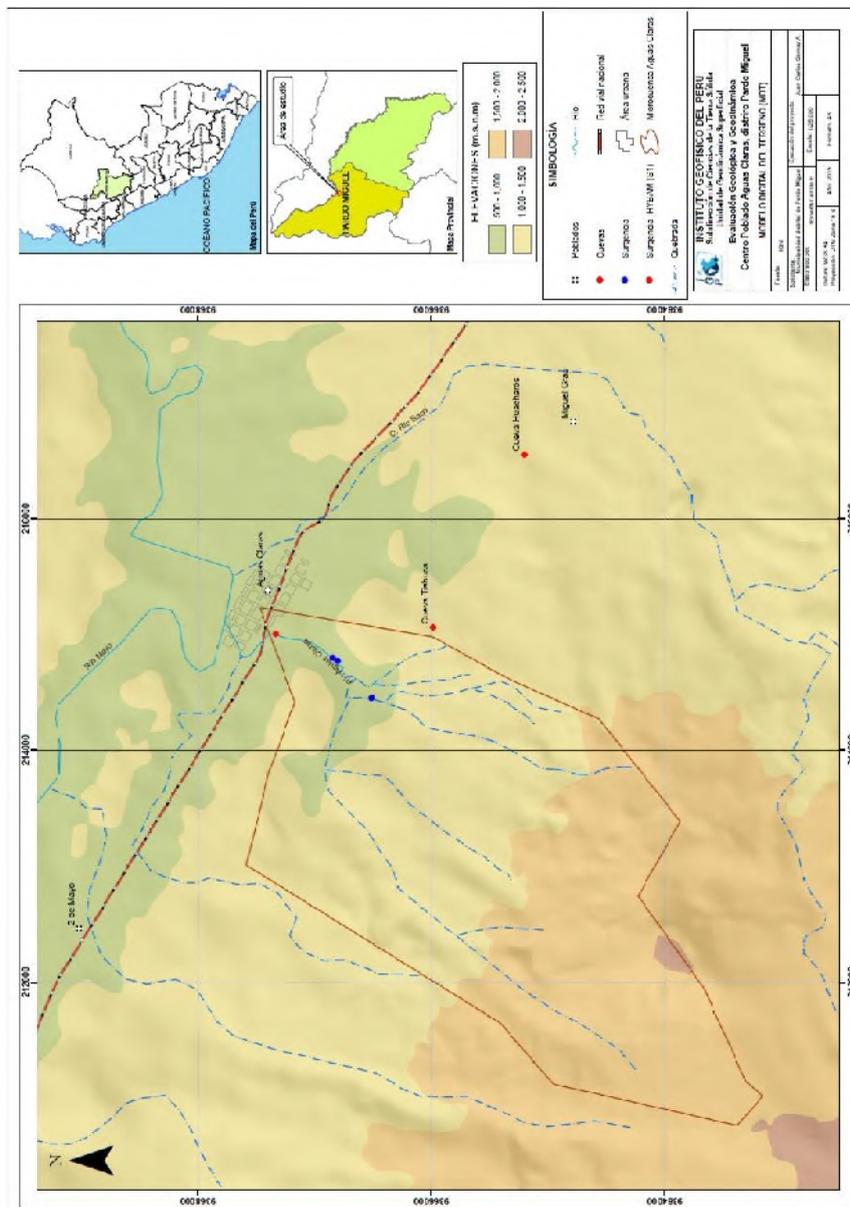


Figura 3: Modelo Digital de Elevación del poblado de Aguas Claras

En el poblado de Aguas Claras no existe estación meteorológica y por ello, para su evaluación se ha tomado datos del SENAMHI correspondiente a la estación Naranjillo-000219 ubicada en las coordenadas geográficas: Latitud 5°49'48" Sur, Longitud 77°23'33" Oeste y en la cota 900 m.s.n.m. (Figura 4). Los datos corresponden al período 2010-2015, y sugieren que en la zona de estudio el clima es cálido a lo largo de todo el año, siendo las temperaturas máximas promedio de 28 a 30 °C y mínimas de 17 a 19°C, respectivamente (Tabla 2).

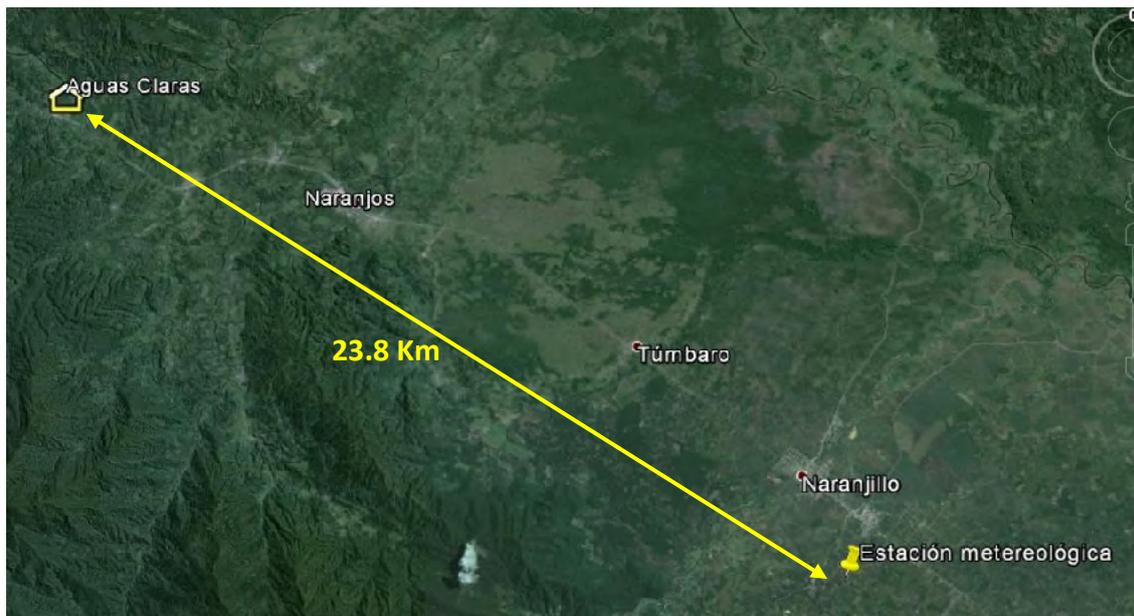


Figura 4: Estación meteorológica Naranjillo ubicada a 23.8 km al sureste del poblado Aguas Claras (SENAMHI, 2015).

Tabla 2: Temperaturas máximas (amarillo) y mínimas (celeste) en la zona de estudio durante el período 2010 – 2015.

MES/AÑO	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	MAX	MIN										
ENERO	SD	SD	29.01	18.91	27.85	18.60	28.28	18.96	27.90	18.94	26.68	18.92
FEBRERO	SD	SD	28.56	18.47	26.5	18.20	27.95	18.86	26.78	19.07	28.64	19.54
MARZO	SD	SD	28.02	18.63	28.37	18.45	29.55	19.79	27.55	19.18	SD	SD
ABRIL	SD	SD	28.73	19.16	28.33	18.10	30.36	18.93	28.37	19.11	28.26	19.45
MAYO	SD	SD	29.14	19.33	28.69	17.95	29.42	19.31	28.77	19.58	28.04	19.26
JUNIO	SD	SD	28.71	18.38	28.44	17.00	28.43	18.57	28.47	19.04	28.4	18.4
JULIO	SD	SD	28.51	17.27	29.03	17.04	28.63	16.99	28.52	18.37	28.55	18.91
AGOSTO	SD	SD	30.32	17.38	29.98	17.68	28.89	17.84	29.09	17.99	29.77	18.08
SEPTIEMBRE	SD	SD	29.37	17.9	30.07	16.75	30.09	17.52	29.25	17.94	30.67	18.71
OCTUBRE	SD	SD	30.05	18.36	29.51	17.94	29.75	19	29.49	18.81	30.54	19.25
NOVIEMBRE	SD	SD	29.44	18.88	30.44	19.09	29.5	19.24	29.60	19.70	SD	SD
DECIEMBRE	29.32	18.73	29.32	18.73	28.81	19.29	28.91	19.04	27.80	19.39	28.01	19.38

Los datos pluviométricos indican que las máximas precipitaciones acumuladas alcanzan en promedio 360.60 mm mensuales, durante los meses de enero a marzo; mientras que, las mínimas alcanzan 60 mm en agosto, ver Tabla 3.

Tabla 3: Precipitación acumulada mensual durante el período 2010 – 2015. Máximas de color amarillo y mínimas de color celeste.

MES	Precipitaciones (mm)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	SD	179.30	262.40	273.40	220.70	358.70
Febrero	SD	92.50	274.10	136.10	141.60	269.70
Marzo	SD	213.60	253.20	296.20	360.60	SD
Abril	SD	143.70	251.30	114.70	175.00	212.20
Mayo	SD	178.20	126.00	241.10	156.80	182.30
Junio	SD	115.00	86.80	127.20	162.60	94.20
Julio	SD	143.50	60.20	105.10	103.10	94.00
Agosto	SD	110.10	119.40	171.50	131.70	139.30
Setiembre	SD	98.50	120.00	171.60	95.40	64.50
Octubre	SD	250.30	162.20	253.80	166.40	237.20
Noviembre	SD	155.70	183.40	128.20	270.40	144.40
Diciembre	179.70	337.50	207.70	153.00	268.80	237.50

Por otro lado, la zona de estudio pertenece a la microcuenca hidrográfica del río Aguas Claras con un área de 10.5 km<sup>2</sup>, cuenta con cuatro tributarios secundarios (quebradas) de caudal permanente que discurren sus aguas en dirección SO-NE. Asimismo, existen cinco surgencias de caudal constante en el margen derecho del río Aguas Claras (Tabla 4), de los cuales fue aforado el más próximo al área urbana (M-1), por el sistema de observación HYBAM en los años 2014 – 2015, siendo sus caudales de 4.9 y 7.0 m<sup>3</sup>/s respectivamente (Figura 5).

Tabla 4: Relación de surgencias y/o manantiales identificados en la zona de estudio

SURGENCIA	COORDENADAS UTM		ELEVACIÓN (m.s.n.m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
M-1	215010.11	9367330.29	965
M-2	214805.00	9366838.00	975
M-3	214776.00	9366799.00	976
M-4	214454.00	9366514.00	975
M-5	214457.00	9366507.00	975

Finalmente, todas las aguas de esta microcuenca desembocan a la cuenca del río Mayo, ubicado a 320 m al sur del poblado Aguas Claras.

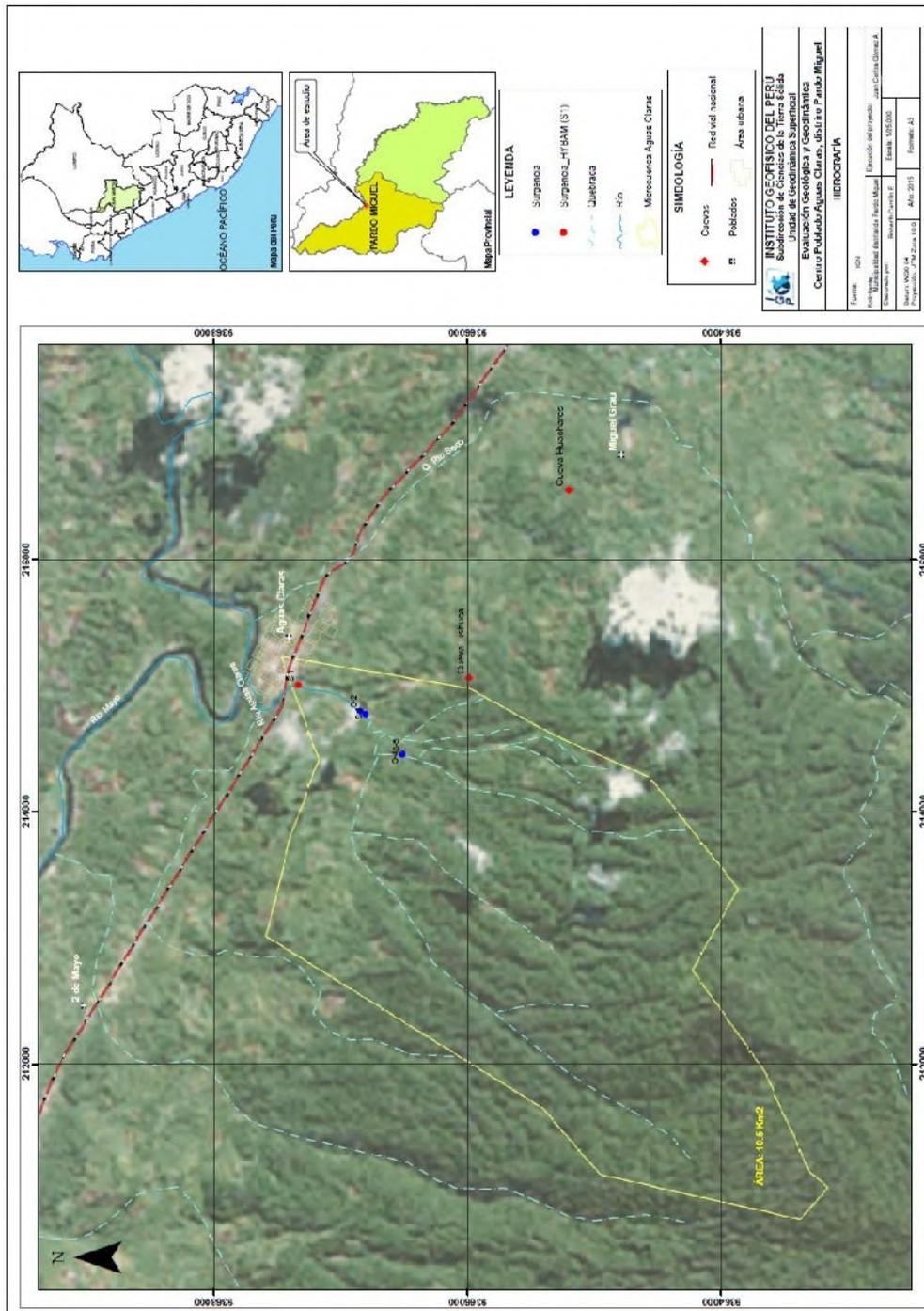


Figura 5: Mapa hidrográfico de la cuenca del río aguas Claras

## **6.- GEOMORFOLOGÍA**

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de grandes elevaciones y depresiones; mientras que, las segundas como desencadenantes de la continua denudación que tiende a rebajar el relieve original. Estos últimos, son llamados procesos de geodinámica externa y agrupan a la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008). En este estudio se describen las características de las geoformas existentes en el poblado Aguas Claras, en relación al origen y procesos que modifican el paisaje actual.

### **6.1.- Modelo digital del terreno (MDT)**

Los MDT son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformado por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital, son utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994). Para la elaboración del MDT del poblado Aguas Claras, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel diseñadas anteriormente, obteniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno sobre un área de 22 km<sup>2</sup> aproximadamente (Figura 3).

En base al MDT, la zona urbana del poblado de Aguas Claras se asienta sobre una terraza aluvial con cota de 950 m.s.n.m. Regionalmente, a la distancia de 1.5 km en dirección SO del área de estudio, sobre una ladera de montaña se ubica la cueva Tishuca con un desnivel topográfico de 150 m respecto al poblado. Asimismo, en su entorno se tienen montañas y colinas que controlan la geodinámica local.

### **6.2.- Pendientes**

Las pendientes de un terreno, dado en grados, influyen en la formación de los suelos y condicionan el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo su infiltración en el suelo (Belaústegui, 1999).

Para el poblado de Aguas Claras, el mapa de pendientes fue elaborado a partir del MDT haciendo uso de herramientas de geoprocésamiento (área de influencia, construcción de modelos, análisis espacial, etc) para diferenciar gráficamente los ángulos de inclinación del relieve en el área de estudio (Figura 6).

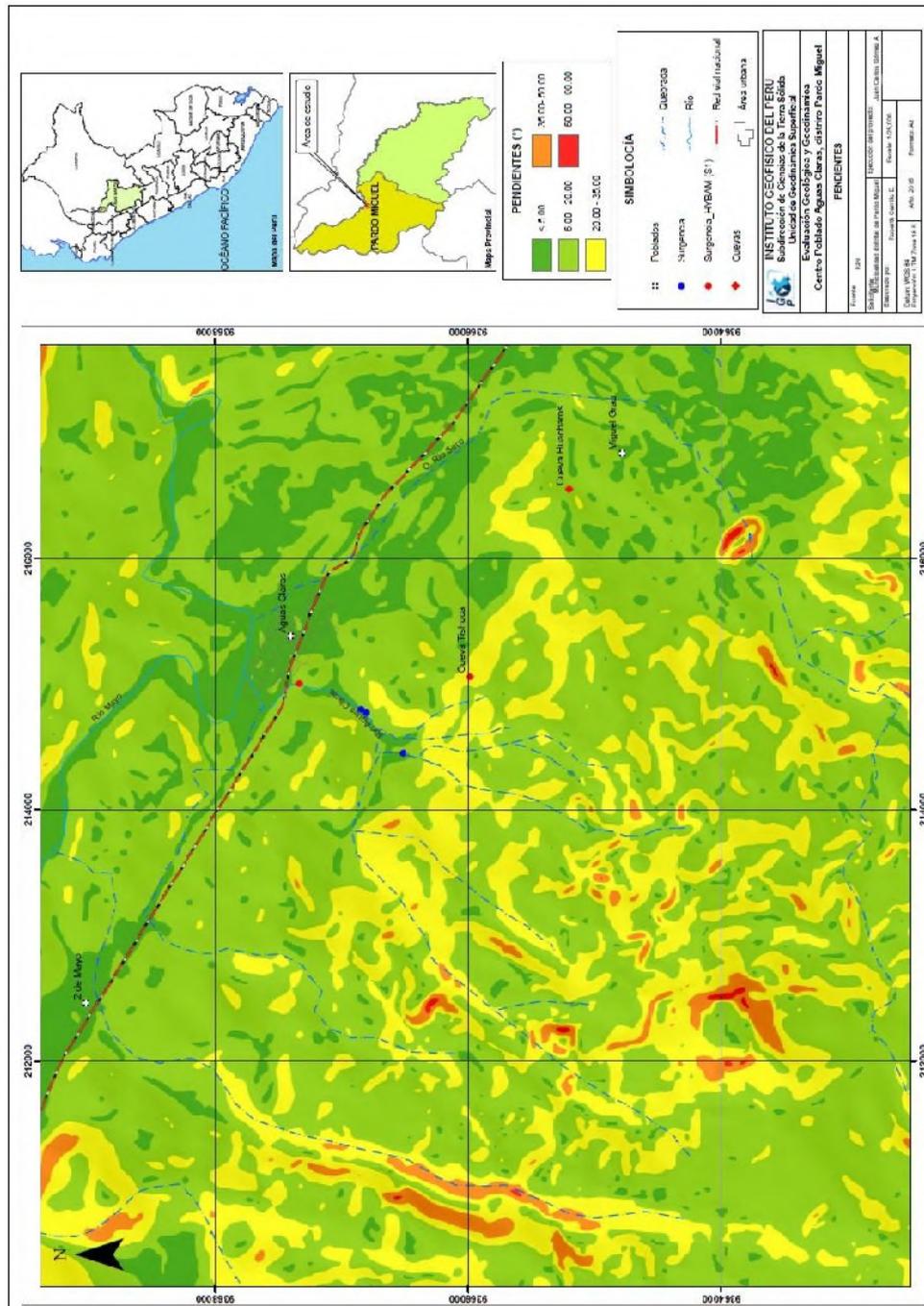


Figura 6: Mapa de pendientes para el poblado Aguas Claras y alrededores

En este estudio, para realizar la clasificación de los rangos de pendientes se consideró la información contenida en el Boletín N° 29 Serie C del INGEMMET (Fidel et al, 2006), ver Tabla 5. El área urbana del poblado Aguas Claras se encuentra asentada sobre una terraza aluvial que presenta pendientes menores a 5° en promedio. En dirección NO se presentan colinas y montañas con inclinaciones superiores a 20°,

Tabla 5: Rangos de pendientes del terreno según Fidel et al (2006)

PENDIENTES EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
< 5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
> 50	Muy fuerte

### 6.3.- Unidades Geomorfológicas

Para la descripción de las principales unidades geomorfológicas existentes en el poblado de Aguas Claras y alrededores, se han tomado en cuenta la descripción de las geoformas en base a su génesis, tal como sugieren Villota (1991) y Tejada (1994). Según la Figura 7, en Aguas Claras se tiene las siguientes unidades geomorfológicas:

#### 6.3.1.- Origen tectónico

Este tipo de unidad se encuentra relacionada con la actividad tectónica de la Cordillera Oriental y entre las principales se tiene las siguientes:

**Montaña:** La unidad se formó por acción de agentes endógenos (tectónicos) con elevaciones superiores a los 1000 m.s.n.m y en cuyas laderas se encuentra las cuevas de Tishuca y Huacharos. Esta unidad se encuentra cubierta por depósitos coluviales debido a la erosión, in situ, de aguas de escorrentía. Sus

pendientes son moderadas a pronunciadas sobre los 20°, todas recubiertas por abundante vegetación, Figura 8.

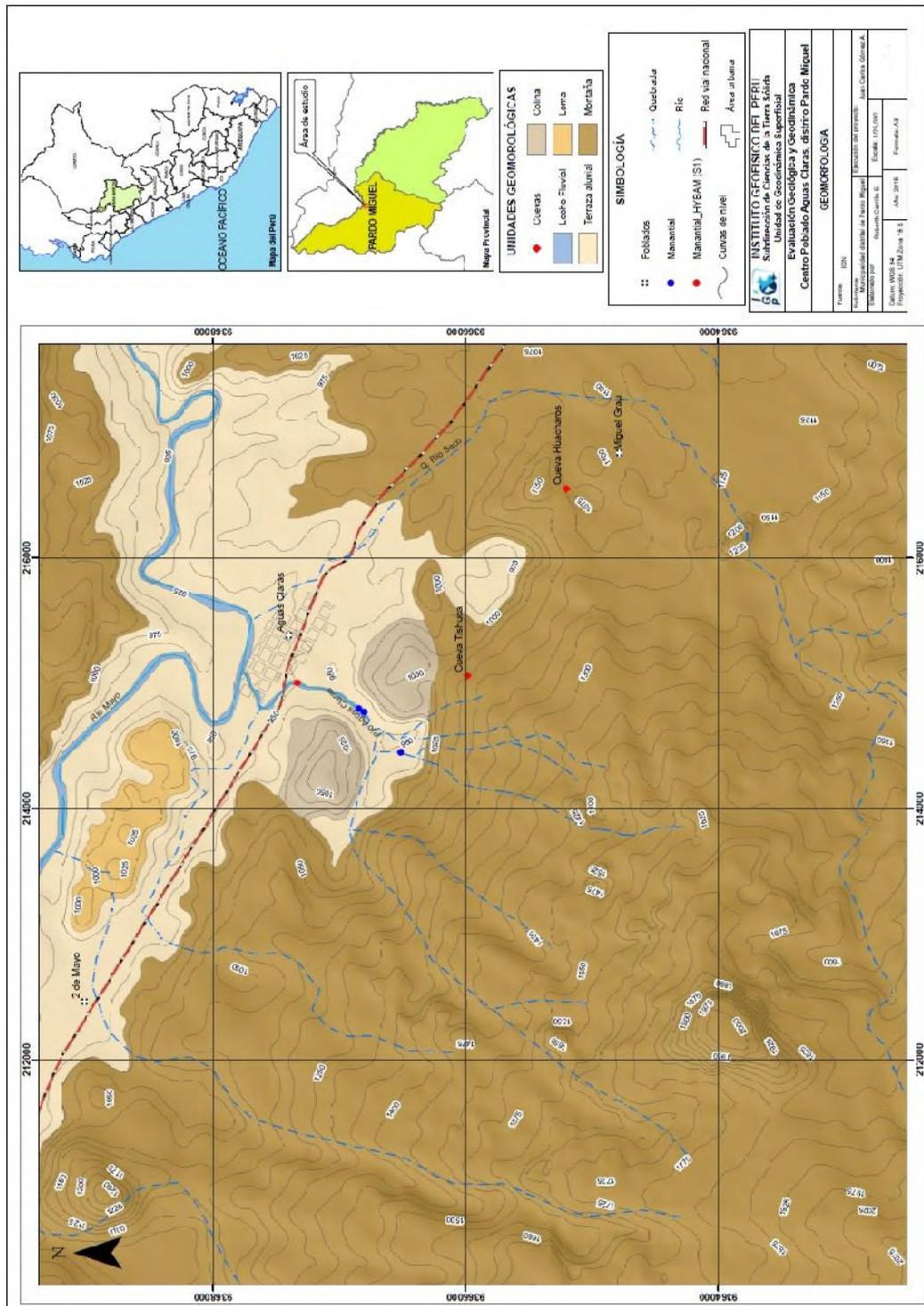


Figura 7: Mapa geomorfológico para el poblado de Aguas Claras y alrededores



Figura 8: Montaña ubicada en la parte sur del Centro Poblado Aguas Claras completamente cubierta por abundante vegetación.

### 6.3.2.- Origen denudacional

Los procesos de denudación (meteorización y/o erosión) actúan sobre cualquier tipo de roca y según su origen, estructura y composición, la denudación puede acelerarse o retardarse. En el poblado de Aguas Claras este tipo de procesos fue identificado en rocas sedimentarias (calizas) que han sido erosionadas por el agua y el viento, llegando a modelar colinas y lomas. A continuación se describen las unidades más importantes.

**Colinas:** Corresponden a elevaciones topográficas de altura intermedia con relieves que presentan pendientes menores a  $25^\circ$ . Se caracterizan por tener configuración basal redondeada y vértices divergentes en todas las direcciones a partir de la cima o cumbre. A 900 m al SO del área urbana de Aguas Claras, en ambos márgenes del río del mismo nombre, se identifica a dos colinas de aproximadamente 1050 m.s.n.m. de altitud (Figura 9).



Figura 9. Colina ubicada a 900 m al suroeste del poblado Aguas Claras, margen izquierdo del río del mismo nombre con un desnivel del orden de 100 m.

**Lomas:** Corresponden a elevaciones del terreno con pendientes menores a 30°. Se caracterizan por presentar una configuración basal alargada y dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta. Esta unidad fue identificada a una distancia de 1.2 Km en dirección NE del área urbana de Aguas Claras, ver Figura 10.



Figura 10.: Loma ubicada a 1.2 Km del área urbana de Aguas Claras completamente cubierta por vegetación.

### 6.3.3.- Origen depositacional

Comprende a las geoformas resultantes por la depositación de fragmentos o sedimentos originados durante los procesos de erosión de rocas preexistentes, cuyos materiales han sido transportados y acumulados en áreas geográficas generalmente de baja pendiente. Entre las unidades más importantes, como resultado de este proceso, se tiene a las terrazas y abanicos aluviales. En este escenario, el poblado de Aguas Claras se asienta sobre una terraza aluvial con las siguientes características:

**Terraza aluvial:** *Corresponde a superficies horizontales o ligeramente inclinadas. Generalmente, estas unidades se encuentran conformadas por materiales heterogéneos (clastos angulosos a subredondeados envueltos en una matriz arenosa y/o fina), principalmente de origen sedimentario. Estos materiales han sido originados por procesos de meteorización de las rocas que constituyen las montañas ubicadas en la parte norte y sur del área de estudio, y que luego fueron transportados por las escorrentías y posteriormente depositados en las inmediaciones del área de estudio (Figura 11).*



Figura 11: Terraza aluvial (línea amarilla) sobre la cual se asienta el área urbana de Aguas Claras

### 6.3.4 Origen fluvial

El más importante de todos los agentes modeladores que actúan sobre la superficie terrestre es el agua de escorrentía y su dinámica comprende las etapas de erosión, transporte y sedimentación. Las geoformas resultantes, se encuentran relacionadas a la presencia de los ríos que se comportan esencialmente como agentes de erosión y transporte de sedimentos procedentes del continente, hasta desembocar en los océanos. A continuación se describen las unidades geomorfológicas de origen fluvial que se han reconocido en el poblado de Aguas Claras.

**Lecho fluvial:** Es el canal excavado por el flujo de agua de un río y los sedimentos que éste transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología del lecho depende del caudal, pendiente, tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato; es decir, es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte. En el poblado de Aguas Claras, se presentan dos lechos fluviales pertenecientes al río del mismo nombre y al río Mayo, ambos ubicados en las inmediaciones del área urbana. El primero atraviesa el extremo noroeste del área de estudio en dirección SO-Ne; mientras que, el segundo hacia el extremo norte de Aguas Claras. Esta unidad se caracteriza por presentar meandros y pendientes suaves (menor a 5°) en la dirección NO-SE (Figuras 12 y 13).



Figura 12: Lecho fluvial del río Aguas Claras (líneas amarillas) con régimen constante a lo largo de todo el año



Figura 13: Lecho fluvial del río Mayo (líneas amarillas). Presenta régimen constante a lo largo de todo el año, es más torrencioso que el río Aguas Claras porque sus dimensiones son mayores (80 m de ancho aproximadamente) y el cambio pendiente es abrupto.

### 6.3.5.- Origen Kárstico

Comprende geformas resultantes de los procesos de meteorización química (disolución de carbonatos y sales) que se desarrollan en rocas calcáreas y evaporitas (calizas, dolomitas, sales y yesos), debido a la presencia de ácido carbónico (mezcla del agua con el dióxido de carbono) disuelto en aguas de escorrentía, tornándose ligeramente ácidas, que luego se infiltra en rocas fracturadas y diaclasadas produciendo su erosión. Por lo general, los ambientes kársticos se presentan en zonas tropicales y subtropicales, lugares donde las precipitaciones pluviales y la producción de CO<sub>2</sub> (debido a la presencia de vegetación) son abundantes. A continuación se describen las geformas kársticas que se reconocen en el poblado Aguas Claras:

**Cuevas o cavernas:** Son cavidades naturales que se han formado en rocas calizas y dolomitas principalmente. Además del factor litológico, obedecen a dominios tectónicos (estratificación, diaclasamientos y fracturas), así como estructurales (fallas) ya que a través de estas se infiltra el agua. Esta unidad se encuentra constituida por diversas galerías o cámaras que presentan formas peculiares como los espeleotemas (formación rocosa originada por la

precipitación del carbonato cálcico que es transportado en gotas de agua) que se dividen en estalactitas, estalagmitas y columnas.

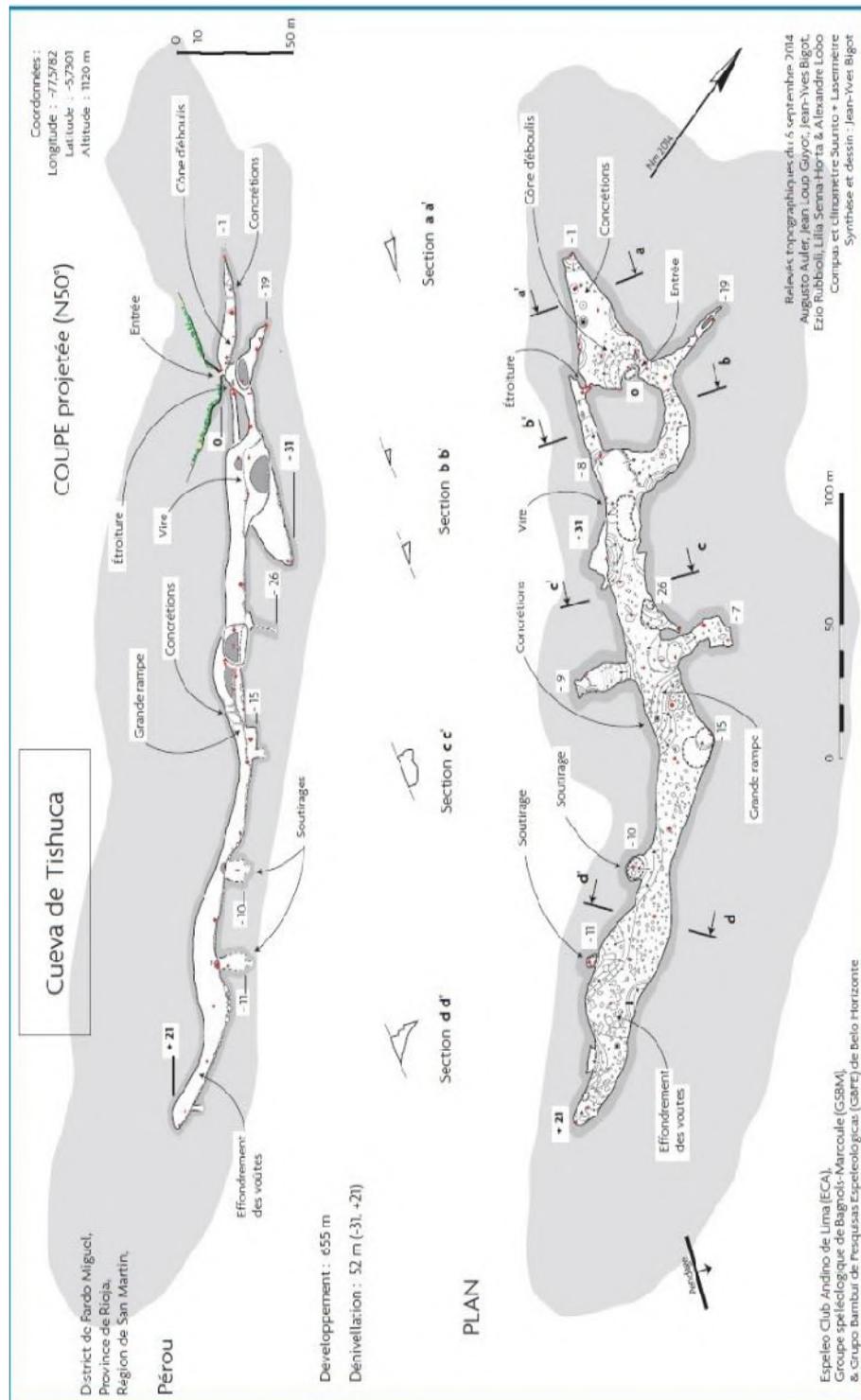


Figura 14: Esquema gráfico de la topografía de la cueva Tishuca, ubicada a 1500 m al sur del poblado Aguas Claras (Bigot, 2014.)

En las inmediaciones del poblado de Aguas Claras se ubican dos cuevas, Huacharos y Tishuca o Santuario Nacional (Figura 14), ambas a 500 m al noreste del caserío Miguel Grau y 1500 m al sur del poblado Aguas Claras, respectivamente. Las cuevas se ubican en una ladera de montaña, cuya elevación es de aproximadamente 1100 m.s.n.m, con desniveles topográficos de 150 m con respecto al poblado Aguas Claras. De acuerdo a información publicada en la web del grupo de espeleólogos de Bagnols-Marcoule (GSBM), las galerías de Tishuca se extienden en dos frentes, hacia el sureste en dirección al río Aguas Claras y noroeste, (paralelo al caserío Miguel Grau, sobre una longitud aproximada de 330 m. En las Figuras 15, 16 y 17, se presentan imágenes de las cavernas presentes en el poblado Aguas Verdes y alrededores.

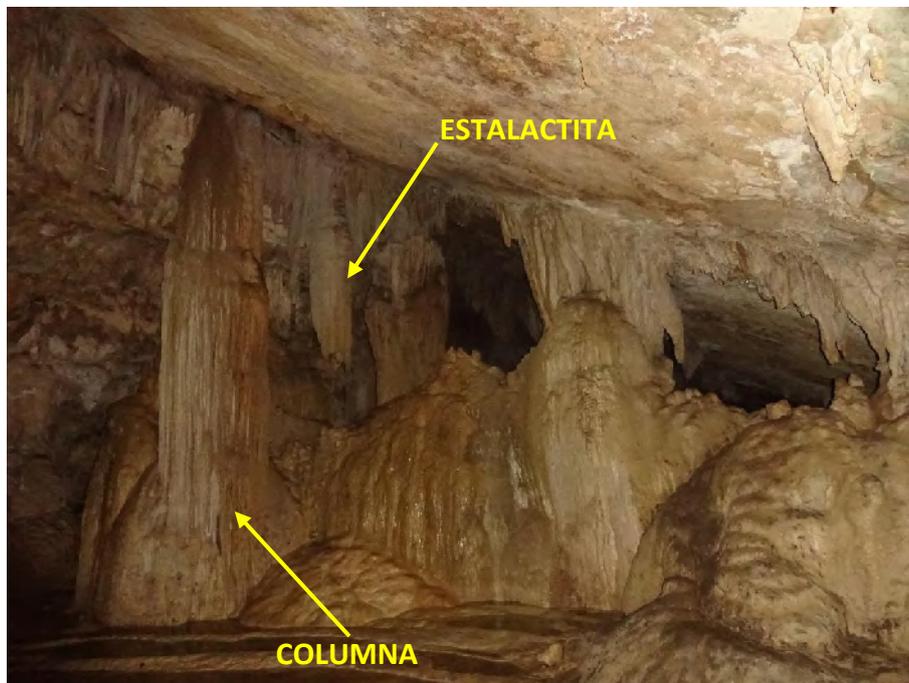


Figura 15: Espeleotemas (estalactita y columna) presentes en el interior de la cueva Tishuca, a 30 m del ingreso y con un desnivel de 2 metros.



Figura 16: Izquierda: Estalactitas y estalagmitas mayores a 1 m de longitud que evidencian que el agua se infiltra en la caverna, disolviendo la roca caliza. Derecha: Entrada a cueva Huacharos, ubicada a 500 m al noreste del caserío Miguel Grau



Figura 17: Fracturas en roca, en la primera cámara de la cueva Huacharos, ubicada a 5 m de la entrada en un desnivel de 3 m.

## **7.- GEOLOGIA**

Para el levantamiento geológico del poblado Aguas Claras y alrededores, se ha utilizado como base la Carta Geológica de Perú (cuadrángulo de Villa de Jumbillas a escala 1:100,000), elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Sánchez, 1998), el mismo que fue complementado con el cartografiado geológico realizado en la zona de estudio a escala 1:15,000.

### **7.1.- Geología Regional**

Según. Sánchez (1998), en la zona de estudio se tiene la presencia de seis unidades litológicas aflorantes conformadas básicamente por rocas con edades entre el Triásico Superior y el Cuaternario (Figura 18). Estas rocas sedimentarias corresponden al Grupo Pucará, generadas en ambientes marinos (procesos de transgresión marina), teniendo como base a la Formación Chambará (TR-ch), constituida por calizas de color oscuro que afloran a 1.1 km al suroeste del Centro Poblado Aguas Claras. Luego del Jurásico Inferior se tiene, suprayaciendo concordantemente a la unidad litológica en mención, la Formación Aramachay (Ji-a) que constituyen las rocas de menor calidad del Grupo Pucará debido a que sus estratos son delgados (menores a 0.50 cm) y compuestos por calizas y limoarcillitas que afloran a 290 m al sur del área de estudio; en la parte superior del Grupo Pucará sobreyace concordantemente la Formación Condorsinga (Ji-c), unidad representada por calizas micríticas de color gris a beige.

La litología descrita, a partir del Jurásico Medio fue afectada por procesos tectónicos de epirogénesis o levantamientos, de tal manera que la cuenca durante este período se desarrolló en ambientes de transición (ambientes continentales), por ello el Grupo Pucará infrayace en discordancia angular a la Formación Sarayaquillo (Js-s), conformada por areniscas, limolitas y lodolitas que afloran a 1 km al noreste de la zona de estudio; suprayaciendo, continua el Grupo Oriente que comprende areniscas cuarzosas que afloran a 2 km al noreste de Aguas Claras. Finalmente, a 700 m al sur del área de estudio se tiene materiales del Cuaternario Reciente (gravas y arenas) y que básicamente conforman los depósitos aluviales (Q-al), ver Figura 19.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. aluvial	Q-al
		CRETÁCEO	SUPERIOR	
MESOZOICA	CRETÁCEO		SUPERIOR	Gpo. Oriente
		SUPERIOR	Fm. Sarayaquillo	Js-s
	JURÁSICO	MEDIO	Fm. Condorsinga	Ji-c
		INFERIOR	Gpo. Pucará	Fm. Aramachay
	TRIÁSICO	SUPERIOR	Fm. Chambará	TR-ch
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR		

Figura 18: Columna cronolitoestratigráfica de la geología regional de la zona de estudio (Sánchez, 1998).

En el poblado Aguas Claras se tiene la presencia de una falla normal de 4.2 km de longitud (rumbo NE-SO) a lo largo de la secuencia estratigráfica del Grupo Pucará (Fm. Sarayaquillo y Grupo Oriente). Asimismo, infiere que esta estructura podría extenderse 3.6 km en la misma dirección, hasta la microcuenca del río Aguas Claras. Por otro lado, en la misma zona el autor infiere la presencia de una falla de 1 km de longitud en dirección NO-SE. Estas fallas podrían haberse originado durante los procesos tectónicos (levantamientos), ocurridos a finales del Jurásico, ocasionando que el Grupo Pucará se deforme en diferente grado, para luego ocasionar que el agua relativamente ácida (producto de la mezcla del dióxido de carbono con las precipitaciones pluviales) se infiltre a través de los plegamientos, fracturamientos y diclasamientos de las rocas hasta formar las cuevas y cavernas de la región.

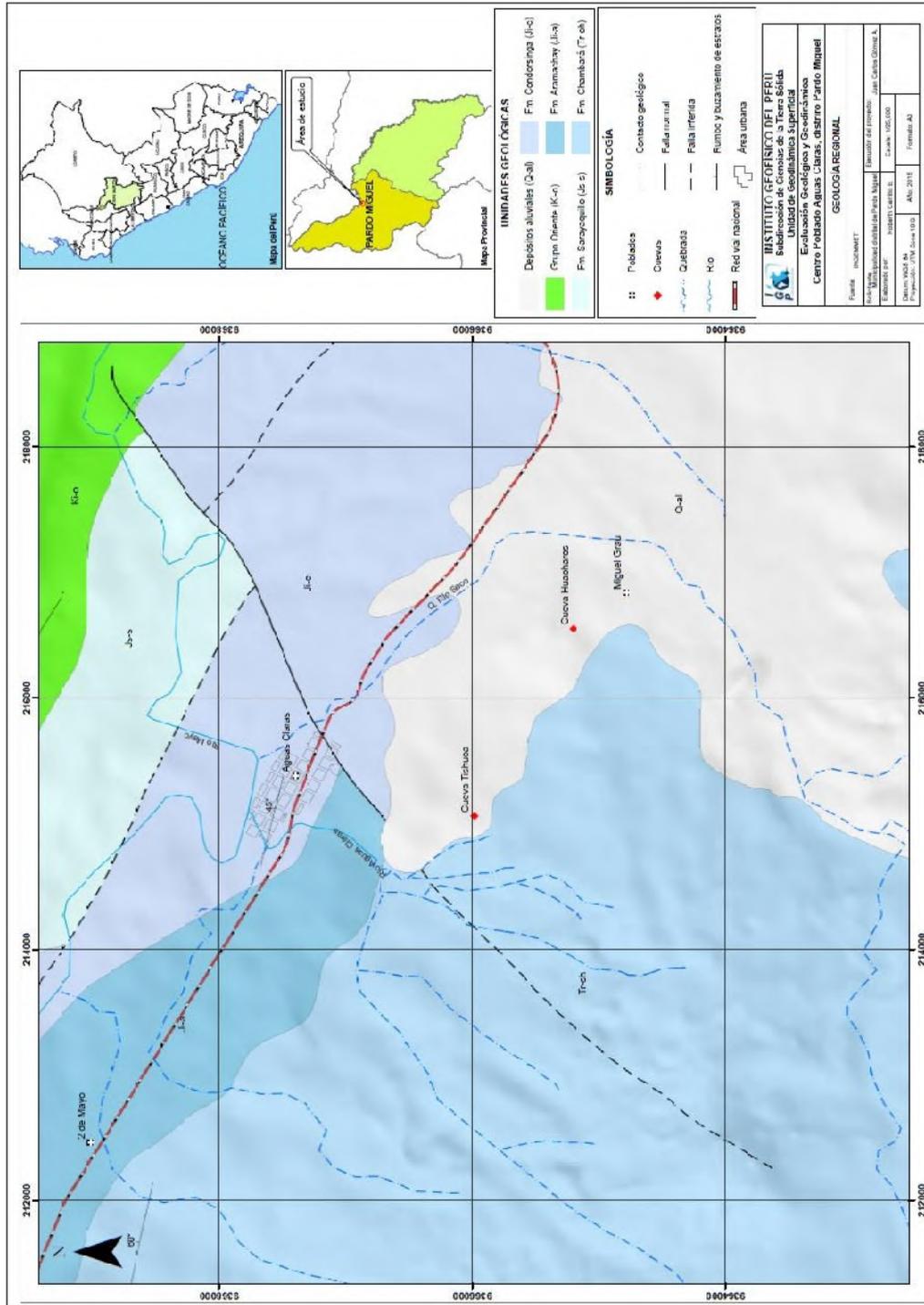


Figura 19: Mapa de geología regional para el poblado Aguas Claras y alrededores

## 7.2.- Geología Local

Para el mapa geológico local, se procedió al reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en el poblado Aguas Claras, a escala 1:15,000 sobre una superficie de 22 km<sup>2</sup> (Figura 20). Las principales unidades son:

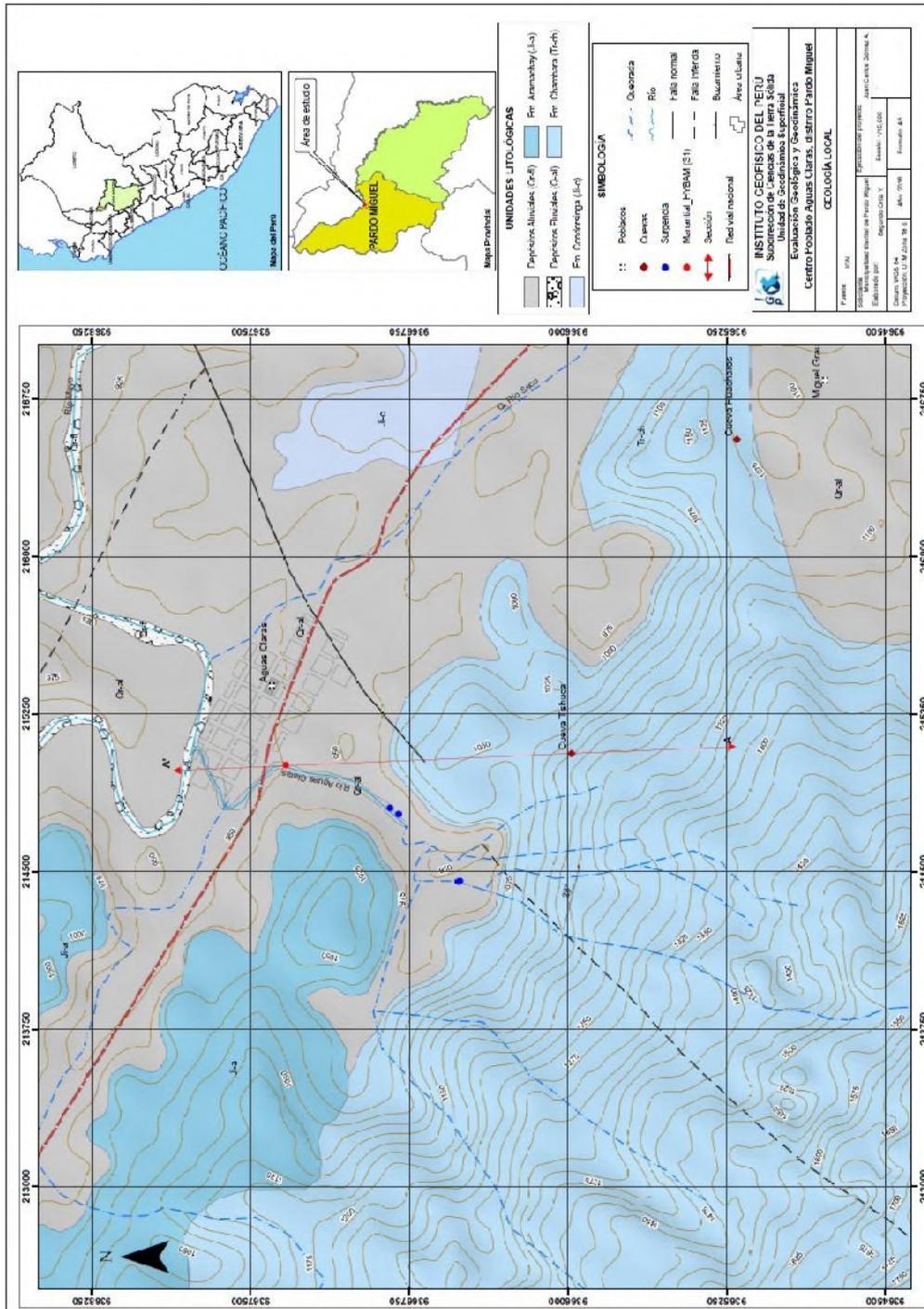


Figura 20: Mapa de geología local para el poblado Aguas Claras

**Formación Chambará (TR-ch):** Corresponde a la base del Grupo Pucará y litológicamente está conformado por calizas de color gris a gris oscuras, calizas dolomíticas y calizas micríticas dolomitizadas que afloran a 2.70 km al oeste y a 900 m al suroeste del poblado Aguas Claras, presentando escarpas muy empinadas. Los estratos presentan rumbo de NO – SE y buzamientos de 28°NE, con dirección hacia el poblado Aguas Claras (Figura 21).



Figura 21: Las rocas calizas de la formación Chambará, buzan  $28^{\circ}\text{NE}$ , con dirección hacia el poblado Aguas Claras.

Las unidades litológicas suprayacentes a la Fm. Chambará, han sido erosionadas fácilmente por los agentes de geodinámica externa, como las lluvias que luego se han infiltrado a través de las cavidades (fracturas, diaclasas, etc), generando procesos de karstificación por disolución de carbonatos. Como resultado de la meteorización química (karstificación), se han formado cuevas o cavernas, entre las cuales se tienen Tishuca y Huacharos (Figuras 22 y 23).



Figura 22: Rocas de la Fm. Chambará erosionados para formar cavernas de 3 m de longitud.



Figura 23: Rocas calizas fracturadas y rellenas con venillas de sílice. Litología identificada dentro de la pequeña cueva que se ubica a 900 m al suroeste del poblado Aguas Claras.

**Formación Aramachay (Ji-a):** Comprende la parte media del Grupo Pucará y consiste en calizas y limoarcillitas de color marrón oscuro, intercalado con calizas grises a negras en estratos tabulares de 5 a 40 cm y que se diferencian por presentar menor resistencia a la erosión. Superficialmente tienen coloraciones crema y aspecto terroso que afloran a 900 m al noroeste del poblado Aguas Claras (margen izquierda del río del mismo nombre). Estas se encuentran ampliamente distribuidas a lo largo del área de estudio, en dirección NO – SE. Litológicamente, en el área de estudio la unidad se encuentra representada por limoarcillitas en zonas donde se llevan a cabo labores agrícolas (Figura 24).

**Formación Condorsinga (Ji-c):** Unidad litológica del Jurásico Inferior, constituye el tope del Grupo Pucará y se caracteriza por tener estratificación delgada en su base y gruesa hacia la parte superior, posee mayor resistencia a la erosión que la unidad infrayacente (Fm. Aramachay). Consiste en una secuencia de calizas micríticas de color gris a beige, generalmente en estratos delgados de entre 10 a 30 cm de grosor, intercaladas con limoarcillitas delgadas con grosores menores a 10 cm de color gris claro y aflora a 1 km al sureste del poblado de Aguas Claras (Figura 25).



Figura 24: Afloramiento de limoarcillitas de color crema y aspecto terroso, situados en la margen izquierda del río Aguas Claras.



Figura 25: La formación Condorsinga, aflora a 1.40 km al sureste del poblado Aguas Claras.

**Depósitos aluviales (Q-al):** Materiales resultantes de los procesos de erosión vinculados a los cauces de quebradas. Los mismos que son transportados aguas abajo y depositados en zonas de baja pendiente (terrazas). Se caracterizan por estar constituidos por materiales heterogéneos que comprenden clastos angulosos a subangulosos, envueltos en una matriz arenosa o areno limosa, en algunos lugares se localizan lentes de arena. En el área de estudio, suprayacen a las rocas de la Formación Condorsinga y son los depósitos de cobertura sobre los cuales se asienta el 100% del área urbana de Aguas Claras y tiene un espesor estimado de 10 metros en las partes bajas y 20 m en las partes altas (Figura 26).

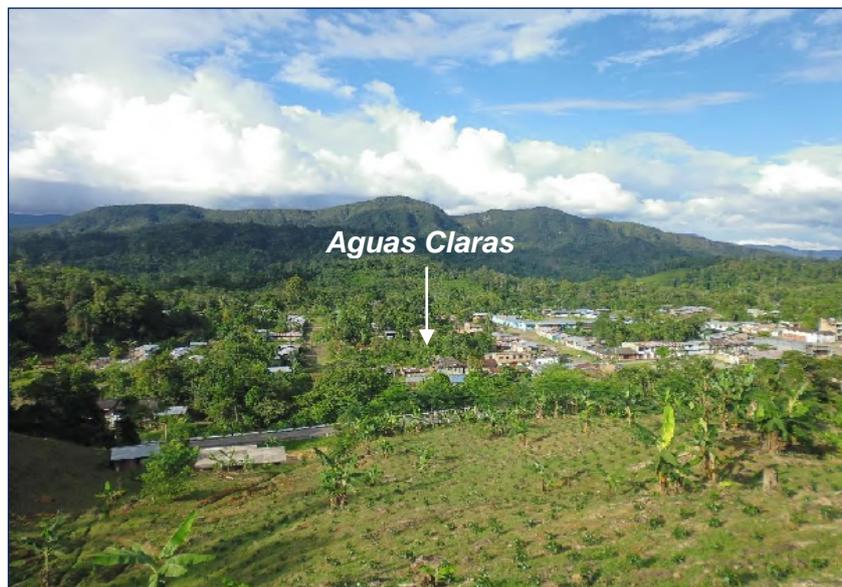


Figura 26: El área urbana del poblado Aguas Claras se asienta sobre depósitos aluviales que suprayacen a las rocas de la Formación Condorsinga.

**Depósitos fluviales (Qr-fl):** Corresponden a materiales resultantes de la meteorización y erosión, traslado y depositación de rocas preexistentes, transportados por una corriente fluvial permanente, encontrándose depositados en el cauce de los lechos de los ríos existentes en el área estudiada. Están conformados mayormente por suelos gravosos, con elementos de diferentes diámetros y origen, envueltos generalmente en matriz arenosa o areno limosa. Se observan a lo largo del río Mayo, ubicado a 270 m al norte del poblado Aguas Claras (Figura 27).



*Figura 27: Terraza ubicada en la margen derecha del río Mayo, constituida por clastos subangulosos envueltos en matriz areno limosa.*

## 8.- GEODINAMICA

La geodinámica es una disciplina de la geología que estudia los procesos y cambios físicos que ocurren constantemente sobre la superficie de la Tierra, estas transformaciones son posibles debido a la interacción de agentes internos y externos que crean, forman, degradan y modelan la superficie terrestre. En poblado de Aguas Claras, se tiene como evidencias de eventos geodinámicos los colapsos que se dan en el interior de las cavernas (caída o descenso brusco de un bloque de roca).

En relación a los procesos geodinámicos en el interior de las cavernas, es importante considerar la descripción de la cueva Tishuca hecha por los grupos de espeleólogos de Bagnols-Marcoule y Pesquisas de Bambuí Espeleológicas Belo Horizonte (GBPE) durante el año 2014. Básicamente, en el interior de la cueva Tishuca, a 240 m en dirección sureste de la entrada principal y 11 m por encima, se tiene la presencia de una cámara de colapsos de roca caliza, ver Figura (14) y Figura 28. A continuación se describe las características de este evento geodinámico:

***Colapsos en ambientes kársticos:*** Se define como la caída o descenso brusco de un bloque de roca que ha sido desprendido del techo de una cueva o caverna producto de la erosión química por disolución de carbonatos en rocas calcáreas, estos procesos resultan de la infiltración del agua superficial a través de las diaclasas o fracturas de los macizos rocosos. Asimismo, se debe conocer que la erosión subterránea es más rápida que la superficial debido a que dentro de las cavidades se almacena dióxido de carbono que en contacto con el agua, acelera el desgaste de las calizas.

*Las evidencias que permiten reconocer los colapsos son muy escasas debido a que éstas ocurren en el interior de las cavernas; sin embargo, en la cueva Huacharos se ha podido reconocer que las rocas se presentan fuertemente fracturadas y que las galerías continúan en ascenso vertical (el techo se encuentra muy meteorizado), ver Fotos 29 y 30. En este escenario, los sonidos y vibraciones superficiales del suelo manifestados por los pobladores de Aguas Claras deben ser atribuidos a colapsos de calizas en el interior de las cuevas o cavernas, ocasionando al momento de caer dentro de espacios confinados (galerías subterráneas), ondas acústicas que se expanden a través de las cavidades subterráneas hacia la*

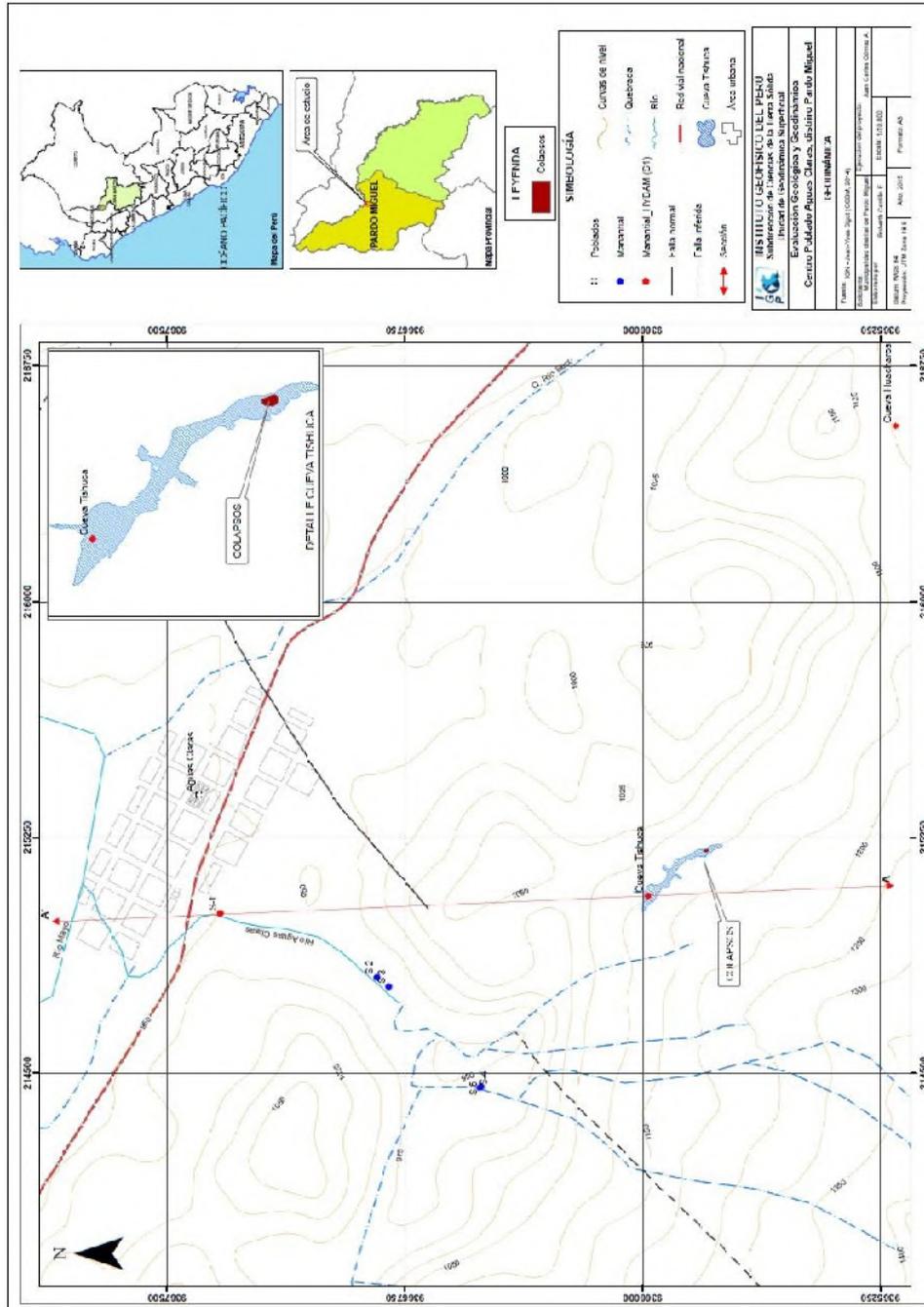


Figura 28: Mapa geodinámico para el poblado Aguas Claras y alrededores

superficie. Aguas Claras se encuentra ubicada a menos de 1.5 km de distancia de la cueva Tishuca, cuyas galerías siguen la dirección noroeste – sureste (a favor del buzamiento de las rocas). Además, las cavidades se han formado como resultado de la deformación de las rocas y la presencia de fallas tectónicas en las inmediaciones del río Aguas Claras que podrían estar generando sismos netamente locales como parte de la geodinámica de la zona. Entre estas fallas, destaca una de tipo normal que sigue el rumbo noreste – suroeste (situada a 710 m de Tishuca) en

sentido perpendicular a la cueva Tishuca (Figura 31), siendo esta una evidencias que las fallas se relacionan con las sugerencias ubicadas al margen derecho del río Aguas Claras.



Figura 29: Fractura en caliza en la cueva Huacharos cuya orientación coincide su buzamiento al NE. Presenta 0.50 m de ancho y se encuentra a 3 m de la entrada principal.

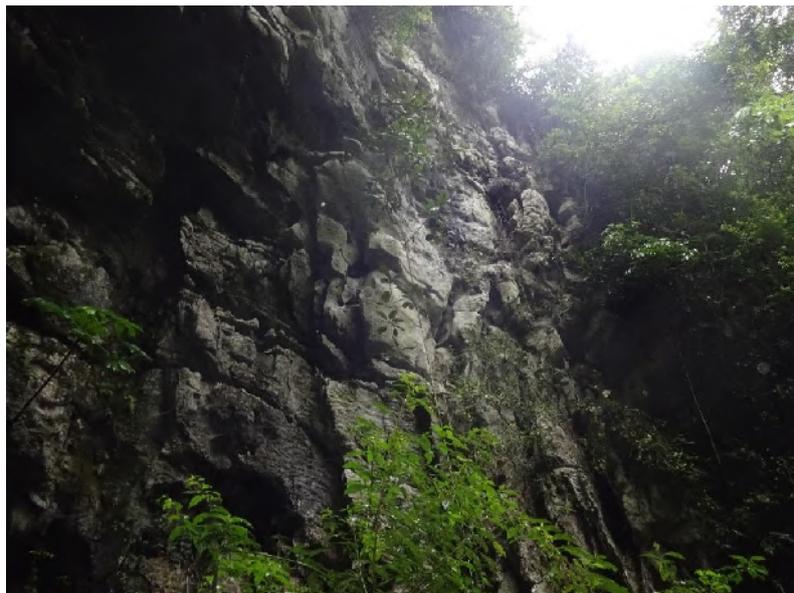


Figura 30:: Afloramientos presentes en el exterior de la cueva Huacharos fuertemente meteorizados por disolución de carbonatos.

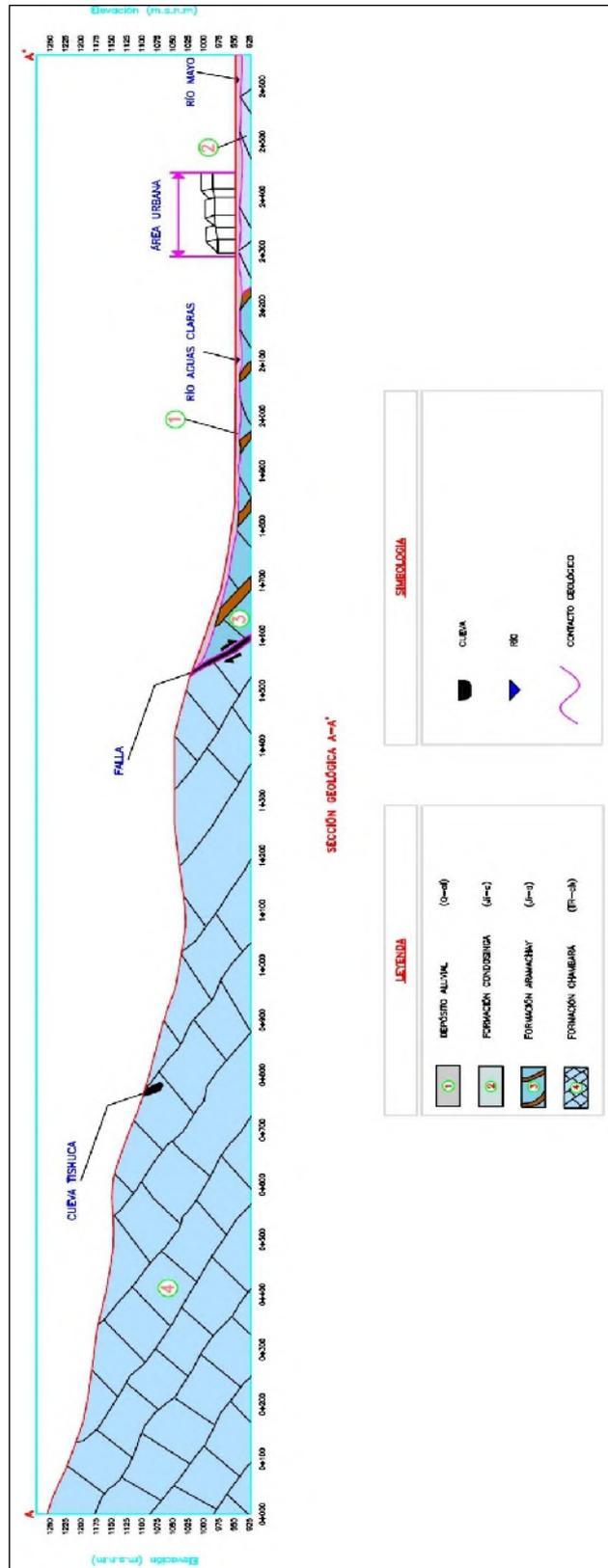


Figura 31: Sección vertical en el poblado de Aguas Claras según la dirección A-A' de la Figura 28.

## 9.- SISMOTECTÓNICA

El borde oriental de la región norte del Perú, se constituye como la región subandina de mayor actividad sísmica en el territorio peruano y esta situación se debe a la presencia de importantes sistemas de fallas tectónicas que controlan la deformación superficial en dicha región. Estas fallas recorren, de NO a SE, el departamento de San Martín e históricamente han sido causantes de importantes sismos que han producido daños en las ciudades de Rioja, Moyobamba y poblados aledaños, entre ellos Aguas Claras, Figura 32.

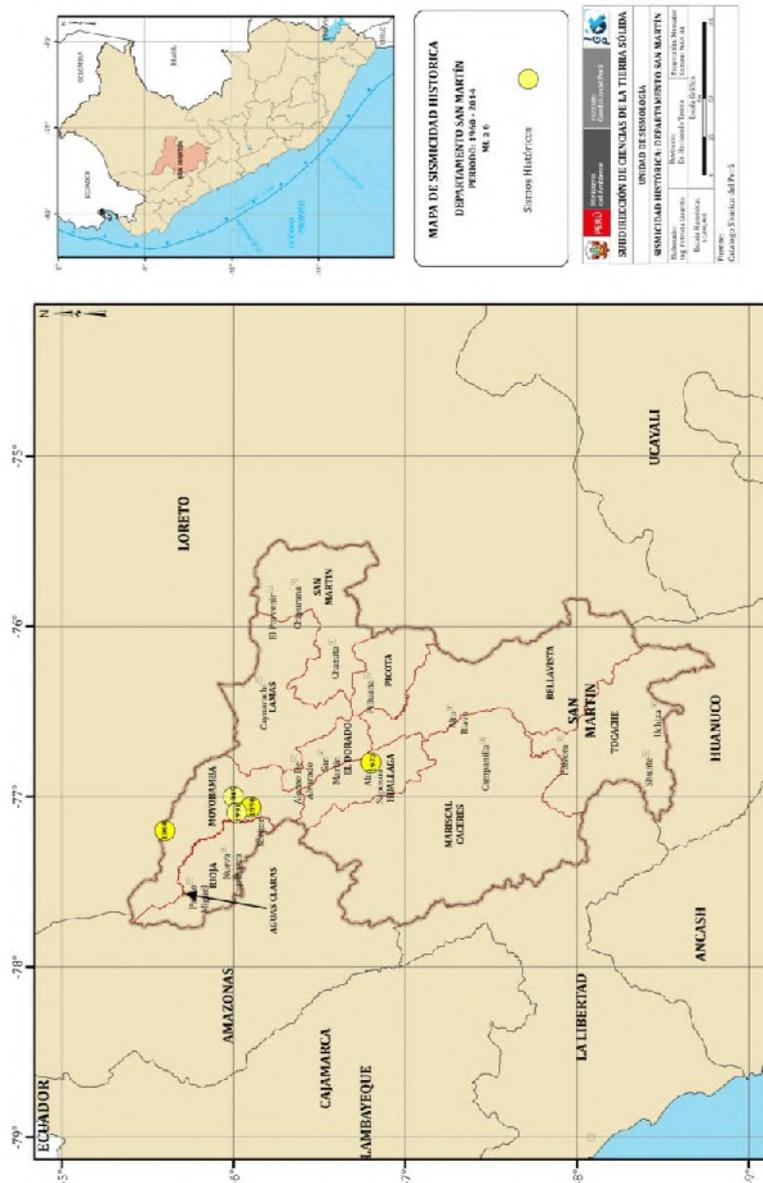


Figura 32: Actividad sísmica histórica en el departamento de San Martín

Los sismos más recientes ocurrieron en los años 1990 y 1991 (Figuras 33 y 34), tres sismos con magnitudes superiores a 6.0 Mw, afectaron y causaron daños importantes en viviendas de las provincias de Rioja, Moyobamba y Lamas, además de deslizamientos y procesos de licuación de suelos a gran escala, debido principalmente a la composición geológica de los suelos y por ser poco compactos. Los daños y número de muertos producidos por estos sismos, fueron similares a los producidos por otros sismos ocurridos en los años 1945, 1968 y 1972 (Silgado 1978).

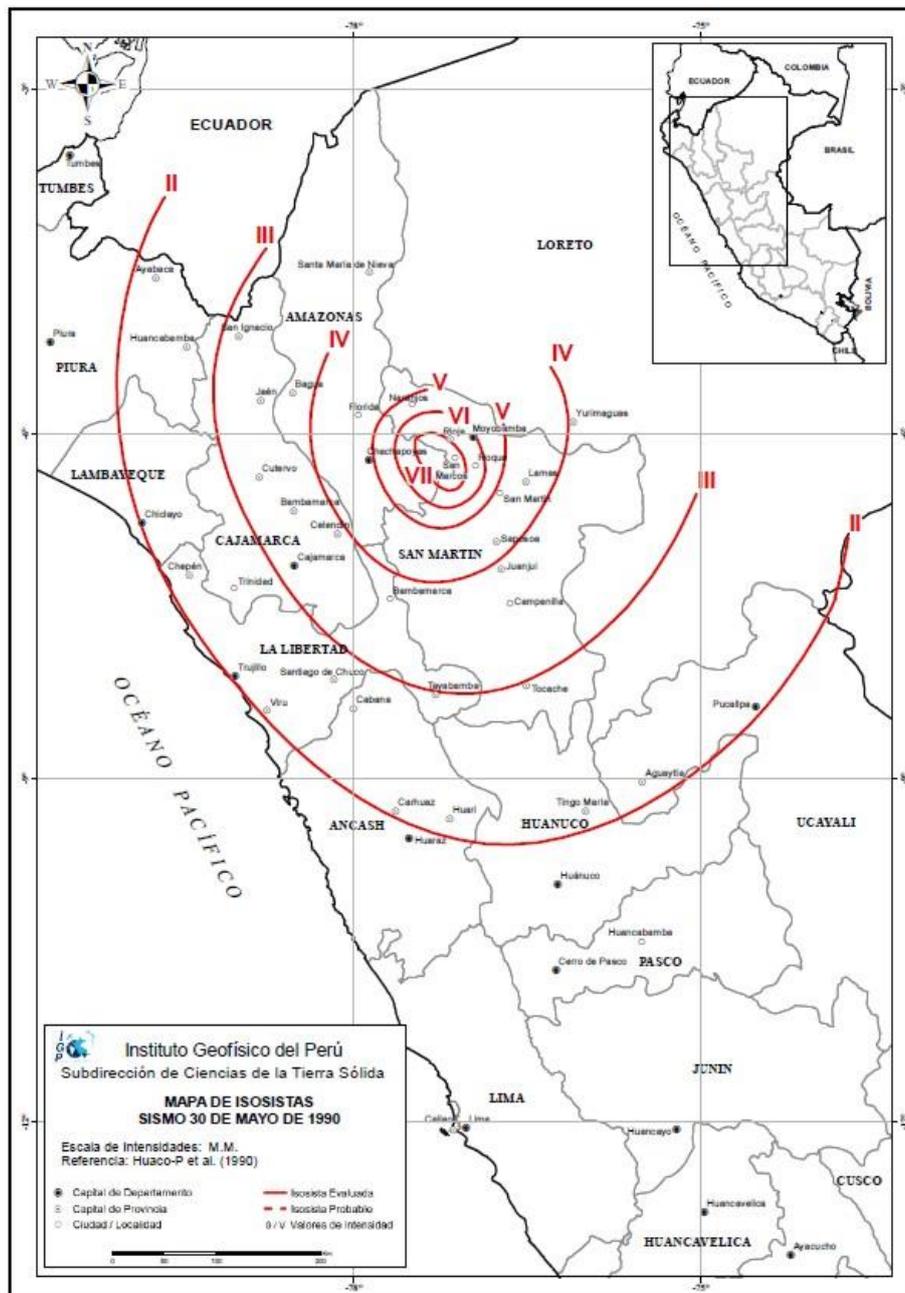


Figura 33: Mapa de isosistas correspondiente al sismo de 1990 (6.0 Mw).

Según el mapa de isosistas de los sismos de 1990 y 1991, ambos presentaron un radio de percepción del orden de 350 km, estando los daños mayores concentrados en un área circular de radio igual a 100 km<sup>2</sup>; es decir, que el poblado de Aguas Claras también fue afectado por este evento sísmico. De acuerdo a todos los reportes de daños, no existe información sobre los escenarios post-sismo en las cavernas de la región, pero es de esperarse que se hayan producido desprendimientos de rocas y colapsos internos.

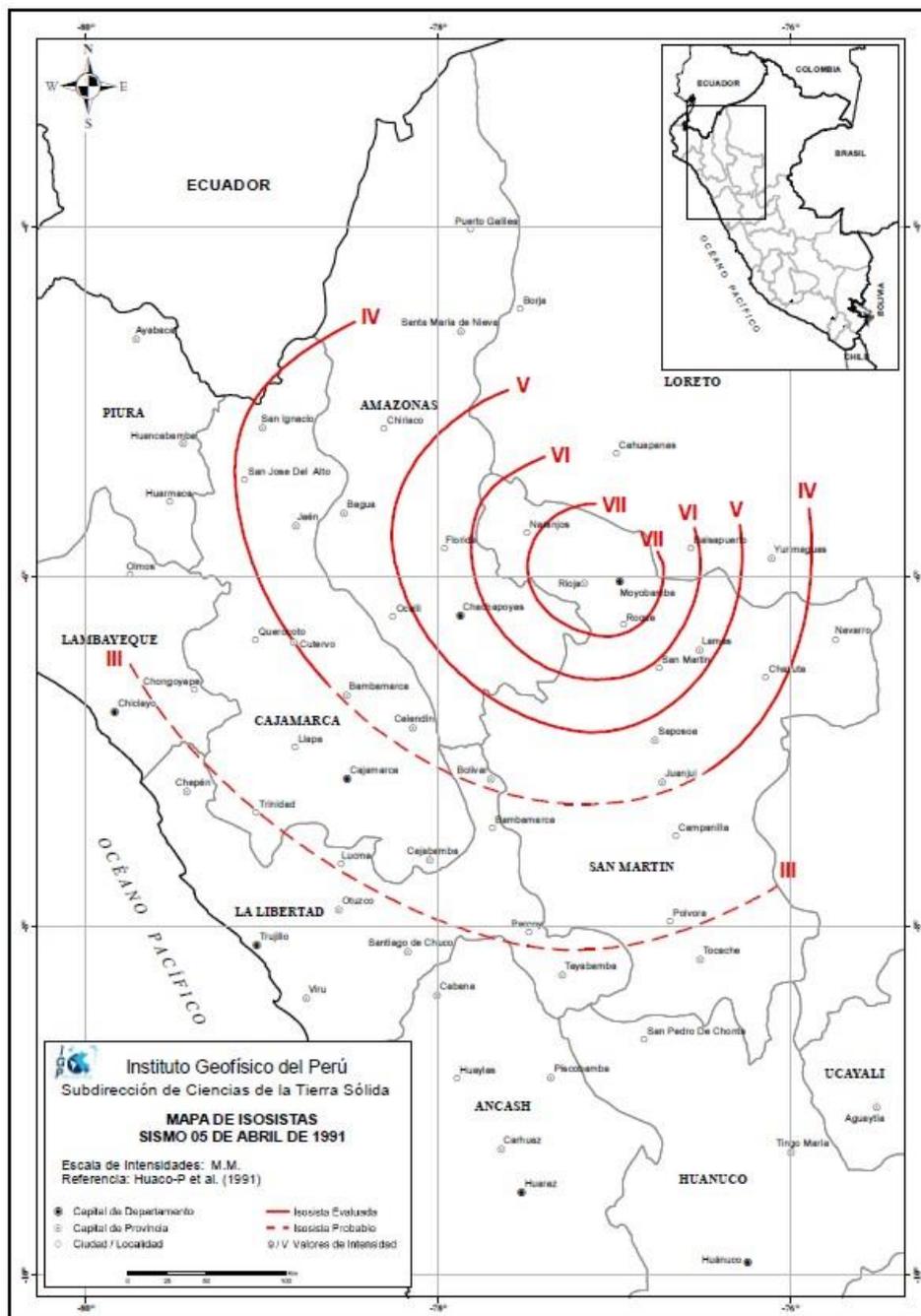


Figura 34: Mapa de isosistas correspondiente al sismo de 1991 (6.5 Mw).

Por otro lado, y según el mapa de sismicidad instrumental de la Figura 35, el sistema de fallas Rioja-Moyobamba, es la fuente primaria de toda la actividad sísmica que ocurre en la región (círculos de color rojo); es decir, sismos de foco superficial que prácticamente se concentran entre las ciudades de Rioja y Moyobamba y sismos de foco intermedio (círculos verdes) que se distribuyen de manera dispersa en todo el departamento. Estos últimos, por presentar sus focos a profundidades mayores a 100 km, no son percibidos en superficie, salvo aquellos que alcanzan magnitudes mayores a 7.0 Mw como el ocurrido en la ciudad de Yurimaguas en el año 2005, que además afectó a las ciudades de Rioja, Moyobamba y principalmente Lamas.

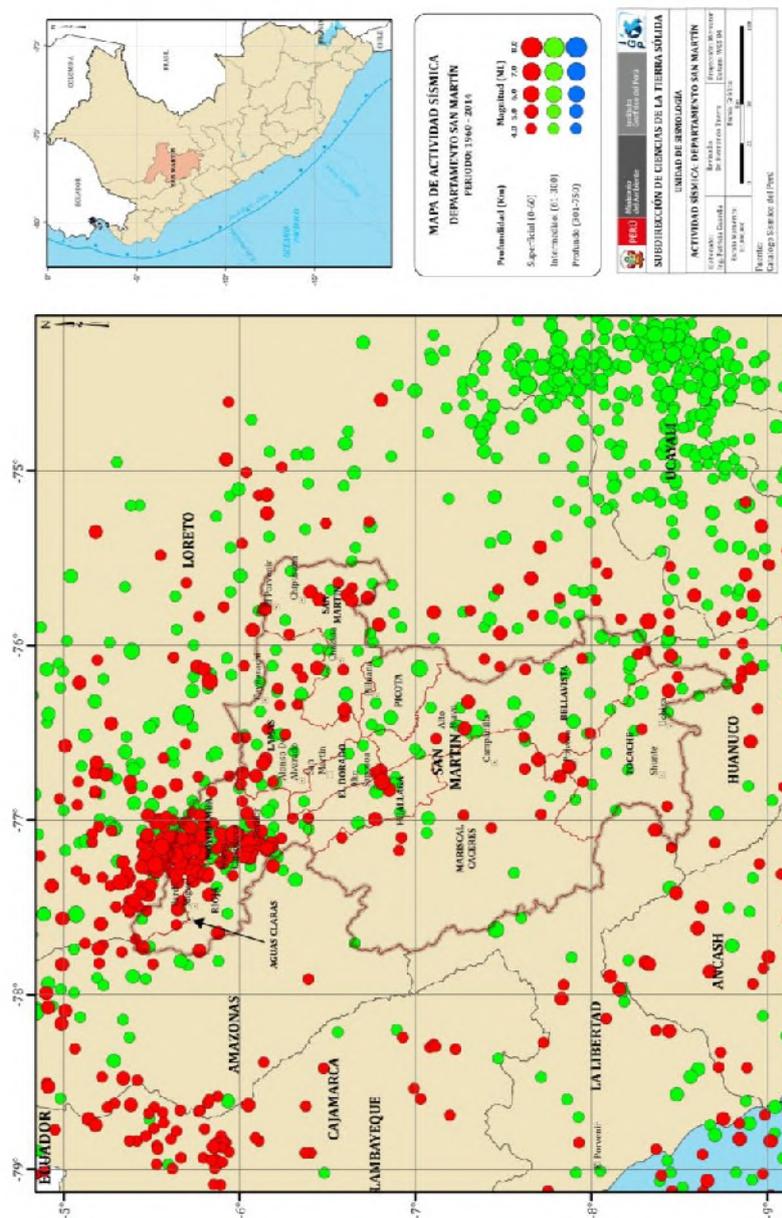


Figura 35: Mapa de sismicidad instrumental en el departamento de San Martín. Para el color y tamaño de los círculos, ver leyenda de la figura.

### 9.1.- Intensidad del Sacudimiento del Suelo, Febrero 2016

Durante el mes de febrero del 2016, en el poblado de Aguas Claras se han producido importantes niveles de sacudimiento del suelo acompañados de ruidos provenientes del subsuelo, siendo mayores durante los días 13 y 14 de febrero, y que trajo consigo, que el río Aguas Claras redujera y/o perdiera su caudal de manera temporal. De acuerdo a las versiones de los pobladores de la zona, este escenario generó confusión y preocupación por esperarse escenarios más críticos.

La Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del IGP, desde el julio del 2015, mantiene operativa una red sísmica local con la puesta por 10 estaciones sísmicas distribuidas en torno al sistema de fallas de Rioja-Moyobamba y de estas estaciones, la de Naranjos se encuentra ubicada a 8 km al sur del poblado de Aguas Claras. Esta estación llegó a registrar un gran número de los sacudimientos del suelo ocurridos principalmente los días 13 y 14 de febrero de 2016, tal como se observa en la Figura 36. De acuerdo a las características de los registros, todos los sacudimientos del suelo fueron producidos por colapsos de rocas kársticas en el subsuelo o en el interior de las cuevas y cavernas cercanas al poblado de Aguas Claras; por lo tanto, se descarta que ellos sean debido a la ocurrencia de sismos.

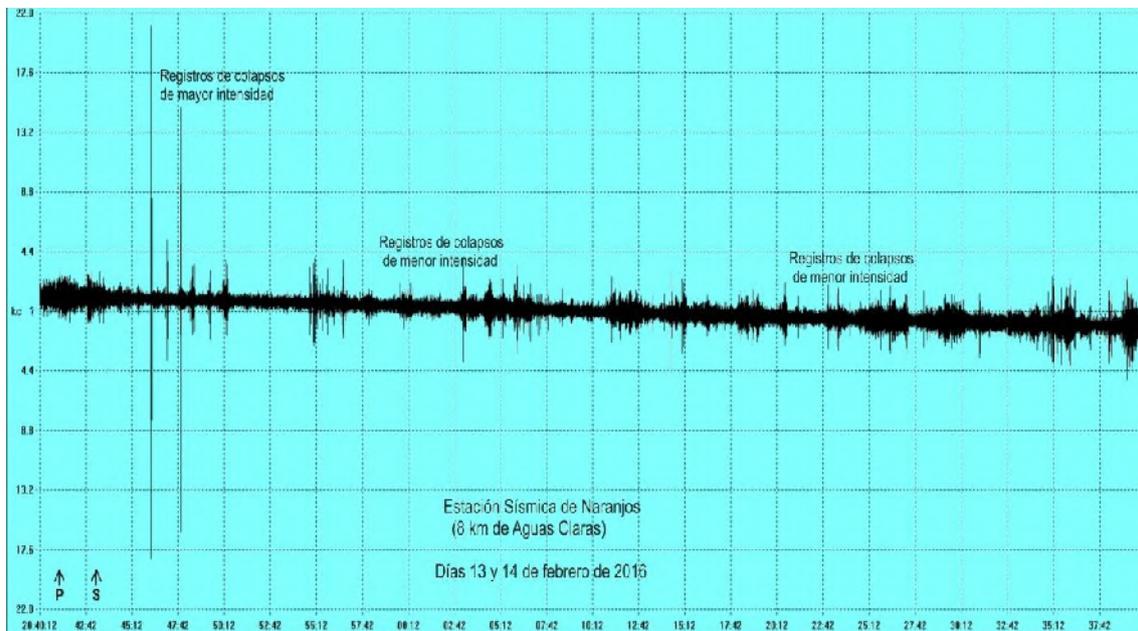


Figura 36: Registros típicos de colapsos subterráneos obtenidos en el poblado de Aguas Claras.

Los registros de la Figura 37 muestran señales correspondientes a una serie de colapsos de menor intensidad ocurridos en lapsos cortos de tiempo en el poblado de Aguas Claras, asimismo se incluye el registro típico de un evento producido por un sismo tectónico a fin de que se pueda realizar las comparaciones en las formas de sus señales.



Figura 37: Registros de colapsos subterráneos de menor amplitud producidos en el poblado de Aguas Claras en comparación con el registro correspondiente a un evento sísmico netamente tectónico.

Del mismo modo, en la Figura 38, se muestra el registro de colapsos subterráneos de mayor intensidad, siendo estos los que causaron mayor alarma en la población de Aguas Claras. En la misma figura se presenta el “zoom” del registro del colapso indicado con la letra “A”, a fin de observar la forma de la señal compuesta por una sucesión de impulsos aleatorios y cuya amplitud decae con el tiempo. Esta información confirma que todos los procesos de sacudimiento del suelo en el poblado de Aguas Claras, tuvieron su origen en los colapsos subterráneos de materiales kársticos, sea en el subsuelo o en las cavernas que se encuentran cerca del poblado.

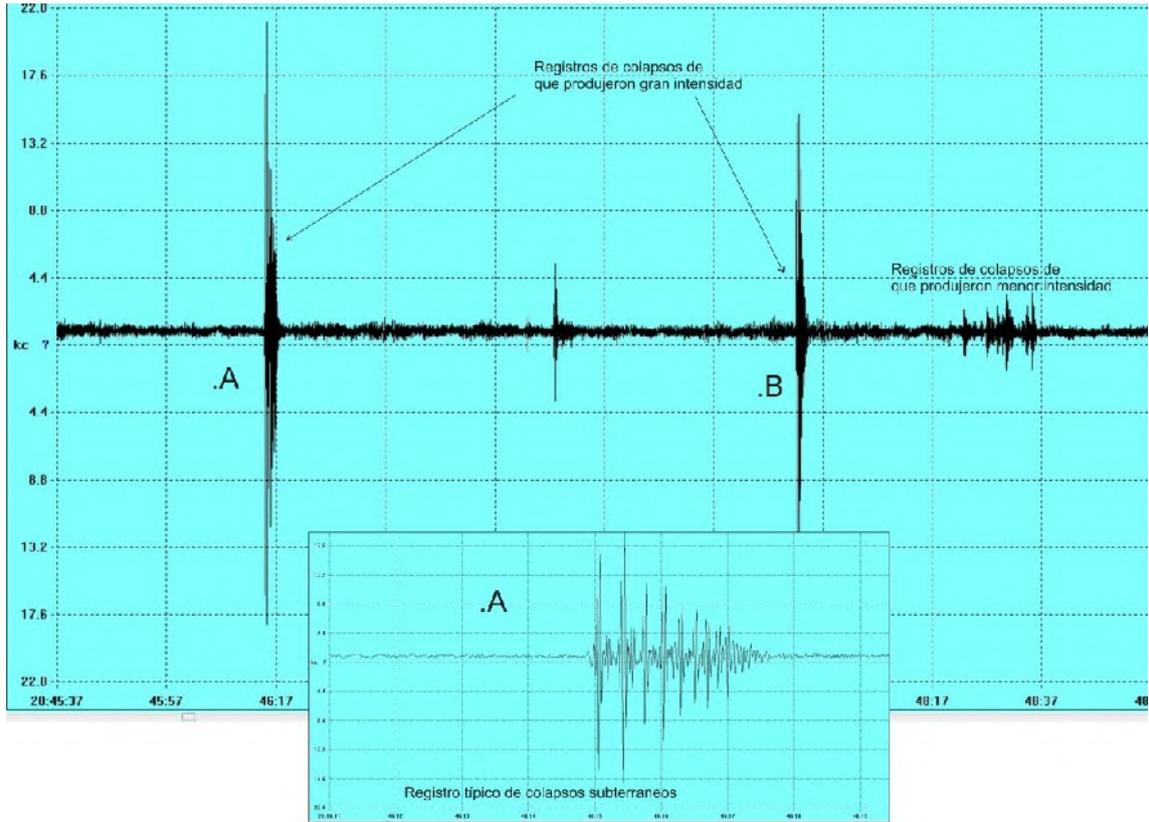


Figura 38: Registros de colapsos subterráneos de gran intensidad en el poblado de Aguas Claras. En el "zoom" se muestra el registro tipo de este proceso en rocas kársticas.

## CONCLUSIONES

El registro de los sacudimientos del suelo y la inspección geológica y geodinámica realizada en el poblado de Aguas Claras y alrededores (Miguel Grau y Dos de Mayo), permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- .- El poblado de Aguas Claras se encuentra asentado sobre una terraza aluvial compuesta por materiales inconsolidados y constituidos por gravas arenosas y limosas con espesores del orden de 10 a 15 metros; además de estar rodeado de montañas, colinas, lomas y el lecho fluvial que corresponde a los ríos Mayo y Aguas Claras.*

*El substrato rocoso en el poblado de Aguas Claras está conformado por rocas sedimentarias del Grupo Pucará constituido por calizas afectadas por procesos de meteorización química (disolución de carbonatos), como producto de la infiltración de aguas de lluvias con contenido de dióxido de carbono a través de las cavidades presentes en las unidades suprayacentes (Aramachay y Condorsinga), proceso que causa su continua erosión. Sobre las laderas de las montañas se ha cartografiado la presencia de cuevas o cavernas, siendo las más conocidas las de Tishuca y Huacharos, ambas ubicadas a 1.5 km al sur y 2.5 km al sureste del poblado Aguas Claras, respectivamente.*

- .- En el poblado de Aguas Claras y alrededores se ha identificado la presencia de 5 surgencias de caudal permanente, todas ubicadas en el margen derecho del río Aguas Claras y estando la más próxima, a 300 m al suroeste del área urbana. La presencia de estas surgencias indica que en la zona de estudio existen aguas subterráneas que fracturan superficialmente al estrato rocoso.*

- .- En la zona de estudio no existe evidencias superficiales sobre la ocurrencia de eventos geodinámicos, pero según los estudios realizados por los espeleólogos se ha llegado a establecer que en el interior de las cavernas ubicadas en las inmediaciones de poblado de Aguas Claras, se ha producido el colapso de rocas debido a la disolución de carbonatos en*

calizas, lo cual ocasionó el desplome súbito de algunas galerías. En la entrada de la cueva Huacharos, se observó que las rocas del techo de las cuevas presentaban fracturas de hasta 0.5 metros. Asimismo, en la cueva Tishuca y a 240 m al sureste de su entrada principal y 15 m por encima, se identificó la existencia de una cámara de colapsos.

- Las vibraciones del subsuelo y sonidos (parecidos a estallidos) percibidos por pobladores, así como la pérdida de caudal en el río Aguas Claras, se deben a colapsos de material kárstico en el interior de las cuevas. La caída súbita de los bloques rocosos generó ondas acústicas que se propagaron en el subsuelo hasta afectar al poblado Aguas Claras y otros con diversos niveles de intensidad. Este proceso fue mal interpretado por los pobladores, los cuales asumieron erróneamente que se trataban de sismos.
  
- Históricamente, el poblado de Aguas Claras ha sido afectado por la ocurrencia de sismos, deslizamientos y colapso de rocas kársticas generadas por sismos, lluvias intensas o simplemente por la gravedad. Estos eventos probables que afectan a los poblados no van a disminuir, pero los daños sí podrían incrementarse debido a que la población es mayor cada año y llegan a ocupar áreas en riesgo. En tal sentido, es importante que las autoridades y la población identifiquen y conozcan los peligros naturales con los cuales conviven a fin de trabajar en desarrollar actividades y proyectos orientados a la gestión del riesgo para beneficio de todos los pobladores.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Belaústegui, S. (1999): Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires - Argentina. 4 p.
- Braja, M. (1999): Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. International Thomson Editores. México.
- Cruden, D. M., (1991): A simple definition of a landslide. IAEG Bull., 43,27-29.
- Felicísimo, M. (1994): Modelos digitales del terreno. Oviedo-España: Pentalfa. 222 p. ISBN: 84-7848-475-2. 222 p.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006): Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.
- Gutiérrez, M. (2008): Geomorfología. Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
- Groupe Spéléo Bagnols Marcoule (2014): Nueva Cajamarca 2014.
- Hidalgo, L. (2015): Muestreo de resurgencias kársticas y recolección de espeleotemas. Publicación SO-HYBAM, Lima.
- Hutchinson, J., N., (1968): Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York, pp. 668 – 696.
- Hutchinson, J., N., (1988): General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, Ed: Bonnard, C.), págs. 1, 3-35. Rotterdam: Balkema.
- Sánchez, A. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Bagua, Grande, Jumbilla, Lonya Frande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolivar. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001) - Source Mechanism of Earthquake in Peru. Journal of Seismology, en prensa.
- Tejada, G. (1994) - Vocabulario de Geomorfología. Ediciones AKAL. 184 p.

Varnes, D.J, (1958): Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., p. 20-47

Varnes, D. J., (1978): Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster R. L. y Krizek, R. J., ed. Landslides analysis and control: Washington, D. C. National Academy Press, Transportation Research Board report 176, p. 9-33.

Villota, H. (1991): Geomorfología de relieves montañosos, colinados y ondulados. IGAC. Santa Fé, Colombia. 212 p.