SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A7325

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR LAHARES (HUAYCOS) EN EL DISTRITO DE YURA

Departamento Arequipa
Provincia Arequipa
Distrito Yura

NOVIEMBRE
2022

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR LAHARES [HUAYCOS] EN EL DISTRITO DE YURA

(Distrito Yura, provincia Arequipa, departamento Arequipa)

Elaborado por la Dirección de
Geología Ambiental y Riesgo
Geológico del INGEMMET

Equipo de investigación:

Nélida Manrique Llerena
David Arteaga Utani

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022) - *Evaluación de peligro geológico por lahares (huaycos) en el distrito de Yura, provincia Arequipa, departamento Arequipa.* Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7325, 65 p.

INDICE

RESUMEN 7

1. INTRODUCCIÓN 8

1.1. Objetivos 9

1.2. Antecedentes y trabajo anteriores 9

1.3. Ubicación 10

1.4. Accesibilidad 11

1.5. Aspectos socioeconómicos 11

1.6. Población económicamente activa 12

1.7. Precipitación pluvial 13

2. DEFINICIONES 14

2.1. Erupción volcánica 14

2.2. Complejo Volcánico Chachani 14

2.3. Lahares 15

2.3.1. Lahares primarios 16

2.3.2. Lahares secundarios 16

2.4. Corriente de densidad piroclásticas (PDC) 17

3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO 17

3.3. Pendiente del terreno 17

3.4. Unidades geomorfológicas 18

4. CONTEXTO GEOLÓGICO 27

4.1. Unidades Litoestratigráficas 28

5. PELIGROS GEOLÓGICOS 38

5.1.1. Quebrada Escalerilla 3 39

5.1.2. Quebrada Escalerilla 4 40

5.1.3. Quebrada Andenes 41

5.1.4. Quebrada Andenes 1 41

5.1.5. Quebrada Apacheta 1 42

5.1.6. Quebrada Honda 42

5.2. Factores condicionantes 43

5.3. Factores desencadenantes 43

6. SIMULACIONES DE FLUJOS DE DETRITOS (LAHARES) 43

6.1. Procedimientos previos a las simulaciones de lahares 44

6.2. Volúmenes empleados en la simulación de flujos de detritos (lahares) 47

6.3. Resultados de simulación de flujo de detritos (lahares) en el distrito de Yura. 48

7. POSIBLE INFRAESTRUCTURA AFECTADA POR LAHARES 48

7.1. Simulación en la quebrada Escalerilla 3 50
7.2. Simulación en la quebrada Escalerilla 4 51
7.3. Simulación en la quebrada Andenes 54
7.4. Simulación en la quebrada Andenes 1 55
7.5. Simulación en la quebrada Apacheta 1 55
7.6. Simulación en la quebrada Honda 56
8. CONCLUSIONES 58
9. RECOMENDACIONES 59
BIBLIOGRAFÍA 60
ANEXO: MAPAS 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito de Yura, provincia y región Arequipa, según el Instituto Geográfico Nacional - IGN. 10
Figura 2. Histograma de precipitación diaria de la estación pampilla (SENAMHI). 14
Figura 3. Erupción del volcán Sabancaya del 23 de mayo del 2022. Fuente: Observatorio Vulcanológico del INGEMMET. 14
Figura 4. Edificios del sur del Complejo Volcánico Chachani. 15
Figura 5. Trayectoria de un lahar idealizado y relaciones geométricas entre H y L, que describen la extensión de la zona de peligro proximal. A y B, describen la extensión de la zona de peligro de inundación del lahar distal. (Iverson, et al, 1998). 15
Figura 6. Lahares primarios generados en el volcán Ampato. Fuente: Google Earth. 16
Figura 7. Lahares secundarios en el flanco oeste del volcán Ubinas. Fuente: Google Earth. 16
Figura 8. Montaña en roca sedimentaria (Grupo Yura). 19
Figura 9. Colina en roca sedimentaria (Grupo Yura). 20
Figura 10. Estratovolcanes Volcancillo, El Ángel, Chachani, Horqueta, Rodado del Complejo Volcánico Chachani. 21
Figura 11. Estratovolcán glaciado Chachani. 22
Figura 12. Planicie ignimbrítica del Aeropuerto Arequipa. 23
Figura 13. Flujos de lava en bloques del pleistoceno tardío (Flujo Uyupampa). 24
Figura 14. Domo de lava (volcancillo). 24
Figura 15. Domos-colada Potreros, ubicados al suroeste del Complejo Volcánico Chachani. 25
Figura 16. Quebrada antropizada en el distrito de Yura. 27
Figura 17. Miembros de composición sedimentaria del Grupo Yura. 28
Figura 18. Ignimbrita Aeropuerto Arequipa al suroeste del Complejo volcánico Chachani. 30
Figura 19. Ignimbrita Tufo Yura infrayaciendo a los depósitos de tefra del volcán monogenético de Uyupampa. 31
Figura 20. Edificio Chingana al noroeste del Complejo Volcánico Chachani. 32
Figura 21. Edificio Nocarane. 33
Figura 22. Estratovolcán Estribo, ubicado al este del distrito de Yura. 33
Figura 23. Estratovolcán El ángel. 34
Figura 24. Estratovolcán El Rodado al suroeste del Complejo Volcánico Chachani. 34
Figura 25. Estratovolcán Chachani. 35
Figura 26. Cráter del volcán monogenético de Ccapua. 36
Figura 27. Domo Volcancillo. 37
Figura 28. Depósito de morrenas en el edificio Estribo. 37
Figura 29. Depósitos aluviales al oeste del distrito de Yura. 38
Figura 30. Mapa de ubicación de las quebradas en el distrito de Yura. 39
Figura 31. Quebrada Escalerilla 3 (parte alta), observándose laderas con pendientes muy fuertes con depósitos de bloques y ceniza (Coordenadas UTM WGS84 219998 E, 8192994 N). 40
Figura 32. Material de escombros en el sector alto de la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220146 E, 8195688 N). 40
Figura 33. Quebrada Andenes, las laderas poseen pendientes moderadas a fuertes (Coordenadas UTM WGS84 219069 E, 8196548 N). 41
Figura 34. Sector alto de la quebrada Andenes 1 (Coordenadas UTM WGS84 218868 E, 8196649 N). 42
Figura 35. Quebrada Apacheta aguas abajo, hacia el lado izquierdo se observa las lavas basales del Chachani (Coordenadas UTM WGS84 215795 E, 8198476 N). 42
Figura 36. Sector alto de la quebrada Honda, las laderas presentan bloques de lávicos de tamaños métricos (Coordenadas UTM WGS84 215795 E, 8198476 N). 43

Figura 37. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios. (tomado de Soncco., Y. et al 2021. Libro de resúmenes extendidos XX Congreso Peruano de Geología, (2021)). 46
Figura 38. Mapa de lahares de los distritos del Complejo Volcánico Chachani (incluido el distrito Yura). 48
Figura 39. Mapa de puntos críticos en las quebradas del distrito de Yura. 49
Figura 40. Simulación de lahares en la quebrada Escalerilla 3. 50
Figura 41. Estación de grifo, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad alto (Coordenadas UTM WGS84 220859 E, 8195052 N). 50
Figura 42. I.E. San Maximiliano María Kolbe, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad moderado (Coordenadas UTM WGS84 220981 E, 8194921 N). 51
Figura 43. I.E. San Miguel Arcángel, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad moderado (Coordenadas UTM WGS84 220921 E, 8194778 N). 51
Figura 44. Simulación de lahares en la quebrada Escalerilla 4. 52
Figura 45. Campo deportivo ubicada en la ladera izquierda de Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220027 E, 8195001 N). 52
Figura 46. I.E. Campo deportivo va cerca al cauce de la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220262 E, 8195770 N). 52
Figura 47. Comisaria Ciudad de Dios (Coordenadas UTM WGS84 220337 E, 8195425 N). 53
Figura 48. I.E. Bambys (Coordenadas UTM WGS84 220342 E, 8195468 N). 53
Figura 49. Áreas recreativas en la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220009 E, 8195499 N) 53
Figura 50. Piedades de ciudad Dios (Coordenadas UTM WGS84 220105 E, 8195686 N). 54
Figura 51. Simulación de lahares en la quebrada Andenes. 54
Figura 52. Bifurcación de la quebrada Andenes en el cruce afirmado (Coordenadas UTM WGS84 219070 E, 8196550 N). 54
Figura 53. Simulación de lahares en la quebrada Andenes 1. 55
Figura 54. Cruce afirmado en la quebrada Andenes 1 (Coordenadas UTM WGS84 218868 E, 8196649 N). 55
Figura 55. Simulación de lahares en la quebrada Apacheta 1 56
Figura 56. Cruce ferroviario en la quebrada Apacheta 1 (Coordenadas UTM WGS84 218392 E, 8196605 N) 56
Figura 57. Relleno sanitario en la quebrada Honda, afectada por un peligro bajo. 57
Figura 58. Relleno sanitario en la quebrada Honda del distrito de Yura (Coordenadas UTM WGS84 217173 E, 8199255 N). 57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ocurrencia de lahares en el distrito de Yura. 10
Cuadro 2. Coordenada de la plaza principal de Yura, provincia y región de Arequipa. 11
Cuadro 3. Rutas y accesos al distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa. 11
Cuadro 4. Población urbana y rural, según distritos, 2017. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. 11
Cuadro 5. Viviendas particulares, según área urbana, rural y tipo de vivienda del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. 12
Cuadro 6. Material de construcción en las paredes de las viviendas del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. 12
Cuadro 7. Material de construcción en los techos de las viviendas del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. 12

Cuadro 8. PEA de 14 a más años de edad, por grupos de edad y ocupación principal. Fuente INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda. 13
Cuadro 9. Cálculo de volumen del lahar de las quebradas del distrito de Yura, resultado de la multiplicación del área de generación de lahares por los distintos grados de precipitación (baja, media y alta). 47
Cuadro 10. Ubicación (UTM WGS84) de los puntos críticos y el nivel de peligrosidad en las quebradas que atraviesan áreas urbanas en el distrito de Yura. 49

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por lahares en 22 quebradas que descienden del Complejo Volcánico Chachani realizado en el distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa. Con este trabajo el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar información en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

Las subunidades geomorfológicas identificadas en el distrito de Yura corresponden a: geoformas de carácter denudacional, geoformas de carácter volcánico, geoformas de carácter fluvial, geoformas de carácter glacial, geoformas de carácter deposicional o agradacional y geoformas de carácter antrópico.

En el distrito de Yura se identifican unidades del Neoproterozoico (Batolito de la Costa), del Mesozoico, resaltando el Grupo Yura, Formación Murco, Formación Arcurquina, depósitos del Paleógeno (Formación Huanca), del Neógeno (Gr Tacaza), finales de Neógeno e inicios del Cuaternario (Grupo Barroso), los edificios del Complejo Volcánico Chachani, los volcanes monogenéticos y depósitos Cuaternarios (morrenas, depósitos fluvioglaciares, coluviales y aluviales).

Los depósitos condicionantes para la ocurrencia de lahares en las quebradas del distrito de Yura son: depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, con un grado de consolidación media de los domos-colada Potrero, bloques lávicos de composición andesítica de diámetros heterométricos, ligeramente meteorizados y moderada fracturación, de las lavas basales del Complejo Volcánico Chachani. Además, depósitos cuaternarios, compuestos por gravas y bloques de origen volcánico de formas angulosas y subangulosas, inmersos en matriz limo-arenosa. Las pendientes de las laderas de las quebradas del distrito de Yura poseen pendientes moderadas (5°-15°), fuertes (15°-25°), muy fuertes (25°-45°) y muy escarpadas (>45°).

El mapa de peligros en el distrito de Yura fue elaborado en coordinación con la municipalidad distrital Yura, identificándose veintidós quebradas, sobre las cuales se realizó la evaluación técnica determinando diecisiete (17) puntos críticos, en seis quebradas, que discurren por el distrito de Yura; denominados así ya que comprometen la seguridad física de seis (6) instituciones educativas (inicial, primario y secundario), dos campos deportivos, dos áreas recreativas, dos cruces afirmados, un cruce ferroviario, una asociación de vivienda, una comisaría, una estación de grifo y un relleno sanitario, representando peligro de nivel bajo, moderado y alto; en caso ocurriera un peligro de este tipo, dañaría de forma directa e indirectamente estas infraestructuras y a los vecinos del distrito.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, tales como: evitar la construcción de infraestructuras o viviendas en zonas de alto peligro no mitigable; implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos y proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT).

1. INTRODUCCIÓN

El Complejo Volcánico Chachani forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVCA), es uno de los trece volcanes activos y potencialmente activos del sur del Perú (de Silva y Francis, 1991). La subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental sudamericana ha generado la existencia de un arco volcánico calco-alcalino desde el Jurásico al reciente, situado sobre la cordillera occidental de los Andes.

La historia geológica del Complejo Volcánico Chachani evidencia que su actividad ha sido explosiva y efusiva, generando depósitos de tefra, flujos de lava, flujos de domo, corrientes de densidad piroclástica y lahares. Aunque el Chachani es considerado un volcán potencialmente activo no se descarta una posible erupción que podría generar muchos daños a la población de la ciudad de Arequipa, ya que los distritos de Cayma, Yanahuara, Cerro Colorado y Yura se encuentran asentados en los alrededores de este complejo.

Aún, cuando los volcanes Misti y Chachani no se encuentran en proceso eruptivo, las quebradas que descienden del Chachani, se encuentran susceptibles a activarse y canalizar lahares que ponen en peligro alrededor de 25% de toda la población de la ciudad y dañar infraestructuras de los distritos antes mencionados. Además, se tiene conocimiento que en febrero y marzo del 2020, las intensas lluvias generaron flujos de detritos (lahares), produciendo el colapso y daño de 70 viviendas, colegios, carreteras y la cantera de Añashuayco (sitio turístico), que dejó 32 familias afectadas.

El distrito de Yura se encuentra asentado sobre depósitos volcánicos de los volcanes Misti y Chachani, las quebradas que descienden del Complejo Volcánico Chachani (CVC) atraviesan el área urbana del distrito. La mayor parte del año las quebradas están secas debido al clima árido de Arequipa, sin embargo, durante los periodos de lluvias estas quebradas se reactivan generando lahares que afectan a la infraestructura y población que están en el cauce o alrededores de las quebradas.

El presente estudio “Evaluación de peligro geológico por lahares (huayco) en el distrito de Yura”, referido al complejo volcánico Chachani forma parte del proyecto de investigación GA-17F: “Estudiar y evaluar los peligros asociados a los volcanes Chachani y Casiri” efectuado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo del INGEMMET a través del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET. En él, se busca estudiar y evaluar los peligros por lahares en las quebradas que descienden del CVC e identificar puntos críticos en el distrito de Yura.

1.1.Objetivos

a) Realizar la identificación y tipificación de los peligros geológicos en las quebradas que se encuentran en el distrito de Yura.
b) Realizar la simulación en las quebradas que recorren el área urbana del distrito de Yura: Escalerilla 3, Escalerilla 4, Andenes, Andenes 1, Apacheta 1, Honda, Cuico, El chico, Huesos, SN4, SN5, SN6, Chingana, Coral, Huanconasi, La Paccha, SN7, Hatumpausa, Añazhuarcuna, SN8, Viscachani y Concevida.
c) Realizar la evaluación de los puntos críticos (infraestructura) en 6 quebradas, las cuales atraviesan predios urbanos y rurales del distrito de Yura.

1.2.Antecedentes y trabajo anteriores

- **Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas.** En este boletín se realiza un estudio integral de los peligros volcánicos en la región de Arequipa, mediante la revisión de publicaciones científicas, la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, y mapas de cartografía de peligros geológicos de estudios preliminares. De este modo, han podido realizar un análisis espacial con el fin de interpretar la evolución de los paisajes geomorfológicos, detectar los procesos que pueden causar desastres y proponer medidas para su prevención y mitigación.

- **Vílchez, M. & Sosa, N. (2021) - Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 85, 236 p., 5 mapas**. En este boletín se identificó y caracterizó los tipos de peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos ocurridos en la ciudad de Arequipa (Incluido el distrito de Yanahuara); se realizó un inventario de peligros en detalle; determinación de zonas críticas; zonificar el territorio según rangos de susceptibilidad y peligro a los movimientos en masa; finalmente proponer acciones a tomar para la prevención de los peligros por movimientos en masa.

- **Alavi, H (2020) - Evaluación de peligro por ocurrencia de lahares (Flujos de lodo) en el complejo volcánico Chachani, 151 p.** En esta tesis se zonifica las zonas de peligro frente a la generación de lahares del Complejo Volcánico Chachani, en la zona de estudio se menciona a 2 quebradas del distrito de Yura. La simulación de este peligro fue elaborada a en base al programa LaharZ y un DEM de 12 m de resolución, permitiendo identificar las áreas afectadas por flujo de detritos (lahares).

- **Manrique, N (2015) – Evaluación de los peligros geológicos en el sector de Yura región y provincia Arequipa, Distrito Yura, 20 p.** Este informe contiene los resultados

de la evaluación técnica realizada en dicho predio, en el cual se describe los probables eventos que puedan generarse en caso de una futura erupción del volcán Misti, considerando que es un volcán activo, de igual forma se menciona que la quebrada Honda que pertenece al distrito de Yura posee un importante volumen de depósitos de ceniza y material aluvial en el cauce de la quebrada.

1.2.1. Tabla de ocurrencias por lahares en quebradas del distrito de Yura que descienden del Complejo Volcánico Chachani (Cuadro 1)

Fecha	Tipo de peligro	Zona	Descripción
02/03/2020	Lahar	Poblado de Yura viejo	Los lahares afectaron las vías de acceso al poblado debido a las constantes lluvias. Fuente: La república.
21/01/2020	Lahar	Km 16 a la altura de la asociación Utupara en la quebrada Andenes	- A consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales, se produjeron huaicos, en el distrito Yura. Fuente: INDECI.
16/01/2017	Lahar	Yura	- Lluvias por más de 18 horas provocó un huayco que afectó a 1000 viviendas. Fuente: INDECI.

Cuadro 1. Ocurrencia de lahares en el distrito de Yura.

1.3. Ubicación

La zona de estudio está ubicada en el distrito de Yura, provincia y región Arequipa (Fig. 1). La plaza principal del distrito a 15,9 km al suroeste del Complejo Volcánico Chachani y a 23 km al suroeste del volcán Misti. Las coordenadas UTM y geográficas de la zona de estudio son (Cuadro 2):

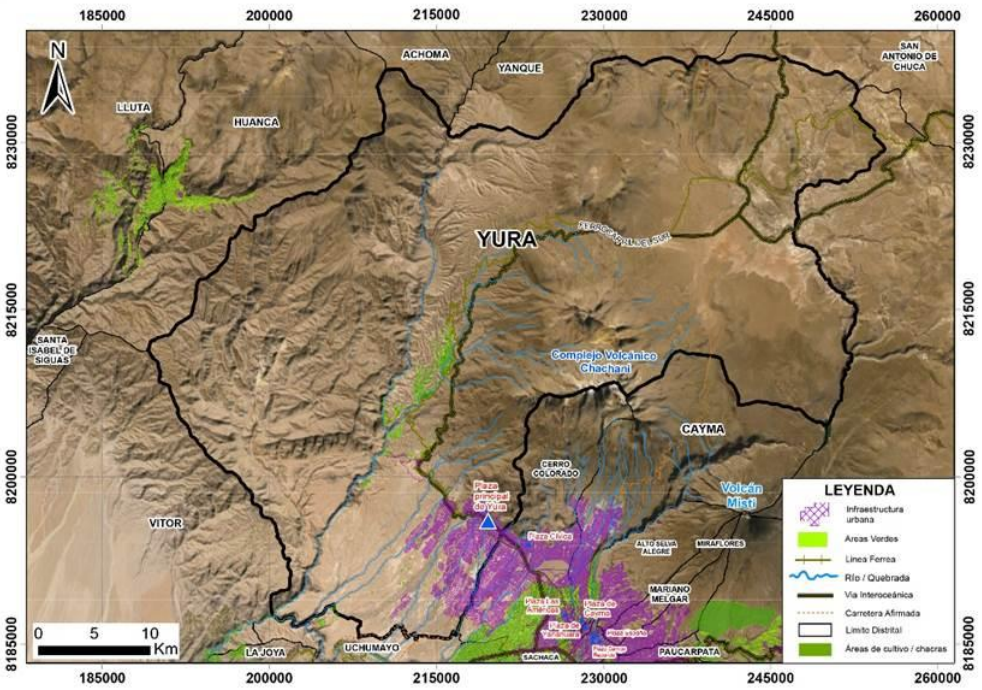


Figura 1. Ubicación del distrito de Yura, provincia y región Arequipa, según el Instituto Geográfico Nacional - IGN.

UTM – WGS84 – ZONA 19S		Geográficas	
Este	**Norte**	**Latitud**	**Longitud**
219662.00 m	8195873.26 m	16°18'6.65"S	71°37'24.19"O

Cuadro 2. Coordenada de la plaza principal de Yura, provincia y región de Arequipa.

1.4. Accesibilidad

El acceso vía terrestre al distrito de Yura, desde el observatorio vulcanológico (OVI)-INGEMMET, sigue la siguiente ruta (Cuadro 3):

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
OVI - Av. Ejército	Asfaltada	1.20	6 minutos
Av. Ejército – Plaza principal de Yura	Asfaltada	14.0	43 minutos

Cuadro 3. Rutas y accesos al distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa.

1.5. Aspectos socioeconómicos

1.5.1. Indicadores de la población

De acuerdo al XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CNPV, 2017), el distrito de Yura hay un total de 33346 habitantes el 50.5 % (16849) son mujeres y 49.5 % (16497) son hombres, en la zona urbana habitan 32871 personas, de las cuales 16650 mujeres y 16221 son hombres, 475 habitan en la zona rural de los cuales 199 mujeres y 276 hombres (Cuadro 4).

Distrito	Población total	Área (km2)	Densidad poblacional (hab./km2)	Urbana		Rural	
				Pob. censada	%	Pob. censada	%
Yura	33346	1943	17	32871	100	475	100

Cuadro 4. Población urbana y rural, según distritos, 2017. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

1.5.2. Indicadores de la vivienda

De acuerdo con el XII Censo Nacional de población y VII de vivienda (CPV, 2017), en el distrito de Yura. La mayoría con 79.2% (28041) son casas independientes, seguido de viviendas improvisadas 20.5% (7281), vivienda en casa de vecindad 0.1% (20), vivienda en quinta 0.1% (17), local no destinado para habilitación humana 0.1% (17) (Cuadro 5).

Tipo de vivienda	Total	%	Urbana		Rural	
			Viviendas	%	Viviendas	%
Total	35394	100	34772	100	622	100
Casa independiente	28041	79.2	27426	78.9	615	98.9
Departamento en edificio	11	0	11	0	0	0
Vivienda en quinta	17	0.1	17	0.1	0	0
Vivienda en casa de vecindad	20	0.1	20	0.1	0	0
Choza o Cabaña	7	0	0	0	7	1.1
Vivienda improvisada	7281	20.5	7281	20.9	0	0

Local no dest. para hab. Humana	17	0.1	17	0	0	0

Cuadro 5. Viviendas particulares, según área urbana, rural y tipo de vivienda del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Las paredes de las viviendas censadas predominantes en el distrito de Yura, son de ladrillo o bloque de cemento con un 82.6 %, el 7.7 % son de piedra o sillar con cal o cemento, el 6.9 % son viviendas de adobe y 1.2 % de madera, 1% de triplay y el restante corresponde a otros materiales (Cuadro 6).

Material de construcción predominante en las paredes	**N° de viviendas**	**%**
Ladrillo o bloque de cemento	10313	82.6
Piedra o sillar con cal o cemento	965	7.7
Adobe	865	6.9
Tapia	3	0
Quincha (Caña con barro)	2	0
Piedra con barro	78	0.6
Madera (pona, tornillo, etc.)	145	1.2
Triplay	113	1.0
Otro	0	0
Total	**12484**	**100**

Cuadro 6. Material de construcción en las paredes de las viviendas del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

El material de construcción en predominante en los techos de las viviendas censadas en el distrito de Yura es: 63,8 % planchas de calamina o fibra de cemento, el 34.8% de concreto armado, 0,5 % de madera, el material restante es de otros materiales (Cuadro 7).

Material de construcción predominante en los techos	**N° de viviendas**	**%**
Concreto armado	4344	34.8
Madera	65	0.5
Tejas	31	0.3
Planchas de calamina, fibra de cemento o similares	7970	63.8
Caña o esfera con torta de barro o cemento	31	0.3
Triplay/estera /carrizo	28	0.2
Paja, hoja de palmera y similares	15	0.1
Total	**12484**	**100**

Cuadro 7. Material de construcción en los techos de las viviendas del distrito de Yura. Fuente INEI – Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

1.6. Población económicamente activa

En base al Censo Nacional del 2017, la población censada económicamente activa de 14 y más años de edad posee 16396 habitantes, siendo los trabajadores no calificados servicios, peón, vendedores ambulantes y afines ocupaciones elementales los que encabezan la lista con 4088 habitantes, trabajadores de servicios, vendedores de comercios y mercado con 3492 habitantes,

trabajadores de la construcción edificaciones, productores artesanales, eléctricos y las telecomunicaciones con 3138 habitantes, 2104 habitantes son operadores de maquina industrial, ensambladores, y conductores de transporte, jefes y empleados administrativos con 732 habitantes, 688 son profesionales técnicos, 507 profesionales científicos e intelectuales, 451 agricultores y trabajadores calificados, agropecuario, forestales y pesqueros, 43 habitantes poseen ocupaciones militares y policiales y personas desocupadas 1134 habitantes (Cuadro 8).

Ocupación principal	**Total**	**Grupos de edad**			
		14-29 años	**30-44 años**	**45-64 años**	**65 y más años**
Miembros del poder ejecutivo, legislativo, judicial y personal directores de la administración pública y privada.	19	5	7	7	-
Profesionales científicos e intelectuales.	507	181	221	97	8
Profesionales técnicos.	688	357	239	85	7
Jefes y empleados administrativos.	732	437	225	65	5
Trabajadores de servicios, vendedores de comercios y mercado.	3492	1389	1117	865	121
Agricultores y trabajadores calificados, agropecuario, forestales y pesqueros.	451	60	152	185	54
Trabajadores de la construcción edificaciones, productores artesanales, eléctricos y las telecomunicaciones.	3138	1066	1229	731	112
Operadores de maquina industrial, ensambladores, y conductores de transporte.	2104	583	960	519	42
Trabajadores no calificados servicios, peón, vendedores ambulantes y afines ocupaciones elementales.	4088	1141	1447	1293	207
Ocupaciones militares y policiales.	43	18	15	10	0
Desocupado.	1134	471	370	248	45
Total	**16396**	**5708**	**5982**	**4105**	**601**

Cuadro 8. PEA de 14 a más años de edad, por grupos de edad y ocupación principal. Fuente INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda.

1.7. Precipitación pluvial

En el distrito de Yura el periodo de precipitaciones ocurre entre los meses de diciembre a marzo (época húmeda) y durante los meses de abril a noviembre hay ausencia de las mismas (época seca). Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en la estación Pampilla entre los años 1931 al 2020 (Fig. 2), muestra que en el distrito de Yura se ha registrado una precipitación máxima de 125 mm, precipitación intermedia de 50 mm y la mínima de 25 mm.

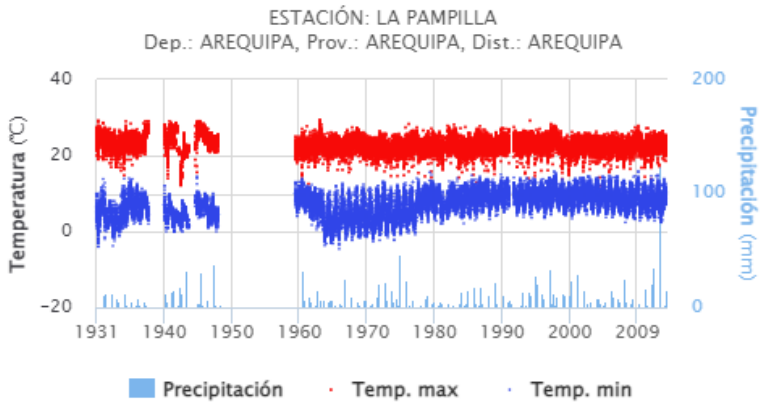


Figura 2. Histograma de precipitación diaria de la estación pampilla (SENAMHI).

2. DEFINICIONES

2.1.Erupción volcánica

Son los procesos durante los cuales el magma y sus gases asociados (Fig. 3) ascienden hacia la corteza y son emitidos hacia la superficie de la Tierra y la atmósfera. Las erupciones volcánicas varían ampliamente, tanto en magnitud como en duración y muestran un amplio espectro de estilos eruptivos y procesos. Los vulcanólogos describen tradicionalmente las erupciones en términos derivados de los tipos de actividad característicos de volcanes particulares o regiones volcánicas (Siebert et al, 2015).

Figura 3. Erupción del volcán Sabancaya del 23 de mayo del 2022. Fuente: Observatorio Vulcanológico del INGEMMET.

2.2.Complejo Volcánico Chachani

Es un aparato volcánico que se encuentra formado por al menos 12 edificios volcánicos, divididos por edificios antiguos y recientes (Fig. 4), entre ellos cinco conos compuestos, cuatro cúmulo-domos y un voluminoso conjunto de domos-colada, además, un extenso campo de lavas hacia el

oeste, sur y suroeste. El Complejo Volcánico Chachani es considerado como un sistema de larga duración, cuya actividad habría durado al menos 1.2 Ma de edad.

Figura 4. Edificios del sur del Complejo Volcánico Chachani.

2.3.Lahares

Los lahares se producen durante una erupción o tranquilidad volcánica (Tilling, 1993). Ocurren cuando grandes masas de agua mezclados con sedimentos volcánicos se desplazan quebrada abajo, que comúnmente incorporan agua y sedimentos adicionales (Fig. 5). Los fragmentos de roca contenidos en los lahares los hacen especialmente destructivos; el abundante líquido contenido en estos les permite fluir sobre pendientes suaves e inundar áreas lejanas a su origen. Pueden comprender uno o más tipos de flujos, los que incluyen 'flujos de detritos' y 'flujos hiperconcentrados' o 'transicionales'. Las transiciones entre los tipos de flujos son definidos en base a la fracción de sólidos que poseen; sin embargo, estas transiciones son gradacionales y dependen de otros factores, como el tamaño de los sedimentos, mineralogía de arcillas, agitación de las partículas y la energía del flujo (Vallance & Iverson, 2015).

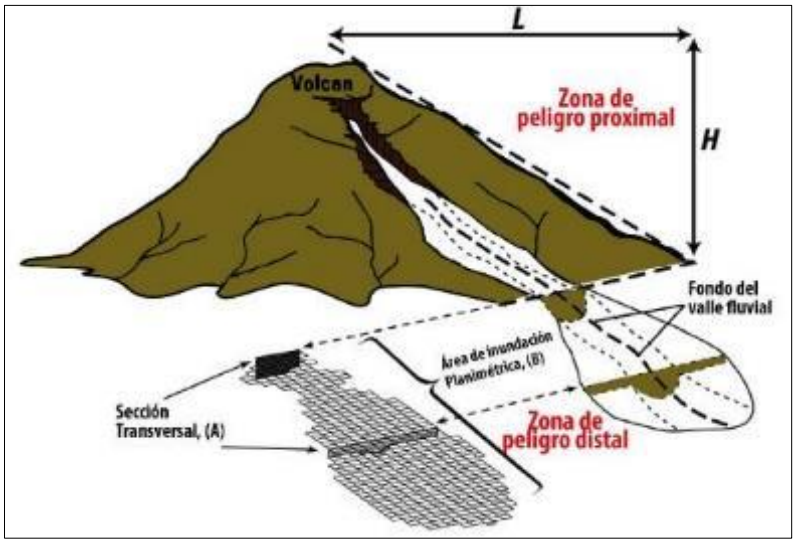


Figura 5. Trayectoria de un lahar idealizado y relaciones geométricas entre H y L, que describen la extensión de la zona de peligro proximal. A y B, describen la extensión de la zona de peligro de inundación del lahar distal. (Iverson, et al, 1998).

2.3.1. Lahares primarios

Los lahares primarios se originan durante erupciones de volcanes nevados (Fig. 6), son el resultado de la combinación de mecanismos físicos relacionados con el fenómeno eruptivo como la expulsión de ceniza, material piroclástico y flujos de lava incandescente que provocan el derretimiento súbito de una porción del glaciar (Vera et al, 2019).

Figura 6. Lahares primarios generados en el volcán Ampato. Fuente: Google Earth.

2.3.2. Lahares secundarios

Los lahares secundarios son mezclas de fragmentos volcánicos (ceniza, lapilli y bloques) transportados por el agua (precipitación fluvial), fluyen rápidamente (10 - 20 m/s) por los flancos, quebradas y valles que descienden de un volcán (Fig. 7) Pueden destruir todo a su paso y alcanzar grandes distancias.

Figura 7. Lahares secundarios en el flanco oeste del volcán Ubinas. Fuente: Google Earth.

2.4. Corriente de densidad piroclásticas (PDC)

Son corrientes extremadamente calientes, llegan a tener temperaturas entre 300 y 700°C, conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de rocas y gases. Descienden por los flancos del volcán a grandes velocidades, se construye por una parte inferior densa y otra menos densa conocida como oleada piroclástica, compuesta por una nube de gases y ceniza destruyendo, calcinando y enterrando todo lo que se encuentra a su paso.

3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

3.3. Pendiente del terreno

La pendiente de los terrenos es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa (lahares), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez et al, 2002).

Para la elaboración del mapa de pendientes del distrito de Yura se utilizó un mapa topográfico y el modelo de elevación digital (DEM), obtenido por medio de imágenes satelitales SPOT 10 m, utilizando el software ArcGis 10.5.

El nivel de jerarquización del mapa de pendientes (Anexo: Mapa 1) fue siguiendo a (Martín-Serrano et al., 2004), adaptado en ficha de inventarios de peligros geológicos y geohidrológicos en el Perú, clasificando en 6 rangos o grados de pendiente: Llano, suavemente inclinado, moderado, fuerte, muy fuerte y muy escarpado; estos se describen a continuación.

3.3.1. Llano (<1º)

Son terrenos planos, se encuentran en zonas puntuales dentro de las planicies aluviales y planicies piroclásticas y volcanoclásticas, ubicándose hacia el lado más oriental del distrito, esta zona se encuentra en constante erosión fluvial

3.3.2. Suavemente inclinado (1º - 5º)

Los terrenos suavemente inclinados se encuentran principalmente en la planicie aluvial, planicie ignimbrítica, planicie piroclásticas y volcanoclásticas, así como la vertiente o piedemonte volcanoclástica. Estas zonas se encuentran asociadas a la erosión fluvial y pluvial.

3.3.3. Moderado (5º -15º)

Estas pendientes representan cerca del 40% del área total del distrito de Yura, ubicándose en geoformas como montaña en roca volcánica, colina o lomada de ignimbrita, montaña en roca volcano-sedimentaria, estratovolcanes, flujo de lava en bloques del Pleistoceno tardío, ladera piroclástica y volcanoclástica. Las pendientes de este tipo están sujetas a reptación, deslizamientos, derrumbes y erosión de laderas.

3.3.4. Fuerte (15º -25º)

Estos terrenos cubren el 27% del área total de estudio. Ocupan una amplia distribución y están en geoformas como las montañas de roca intrusiva, montaña sedimentaria, montaña en roca volcánica, montaña en roca metamórfica, colina en roca sedimentaria, domos-colada y estratovolcanes. Estos terrenos con pendiente fuerte son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y movimientos complejos.

3.3.5. Muy fuerte (25º -45º)

Distribuidos principalmente en los frentes de los flujos de lava en bloques del Pleistoceno tardío, en laderas de la montaña en roca estructural sedimentaria, montaña en roca volcánica, montaña en roca intrusiva, domos de lava, laderas de las lomadas o colinas de ignimbrita. Los deslizamientos, movimientos complejos, avalancha de rocas, huaicos y erosión de laderas ocurren en terrenos con pendiente muy fuerte.

3.3.6. Muy escarpado (>45º)

Presentan una distribución muy reducida equivalente a 0.4% del área total de estudio y se encuentran localizados puntualmente en geoformas como el estratovolcán glaciado y montaña estructural en roca sedimentaria. Estas zonas son muy propensas a caídas de rocas, avalancha de rocas y derrumbes.

3.4. Unidades geomorfológicas

Para la elaboración del mapa geomorfológico (Anexo: Mapa 2), se ha empleado las especificaciones técnicas DGAR-ET-002 V-2 para clasificar y caracterizar las unidades geomorfológicas elaboradas por el INGEMMET a escala 1:25,000.

3.4.1. Geoformas de carácter denudacional

- **Montaña en roca intrusiva (M-ri)**

Esta geoforma se encuentra conformada por laderas de topografía abrupta, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) y elevaciones que alcanzan los 3060 m s.n.m. Los cuerpos ígneos intrusivos se encuentran constituidos por diorita y monzotonalita.

- **Montaña en roca volcánica (M-rv)**

Esta unidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas (lavas, ignimbritas y volcanoarenitas). Poseen pendientes entre moderados (5°-15°) a muy fuertes (25°-45°). Alcanzando una altitud de 4150 m s.n.m.

- **Montaña en roca volcanosedimentaria (M-rvs)**

Litológicamente corresponden a secuencias volcanoclásticas con depósitos sedimentarios. Presentan cumbres alargadas de laderas con pendientes moderadas (5°-15°) a muy fuertes (25°-45°). Alcanzan una altitud de hasta 4411 m s.n.m.

- **Montaña en roca sedimentaria (M-rs)**

Estas geoformas, litológicamente están conformadas por rocas carbonatadas, areniscas y lutitas. Con una altitud máxima de 4600 m s.n.m. y pendientes entre moderadas (5°-15°) a muy fuertes (25°-45°) (Fig. 8).

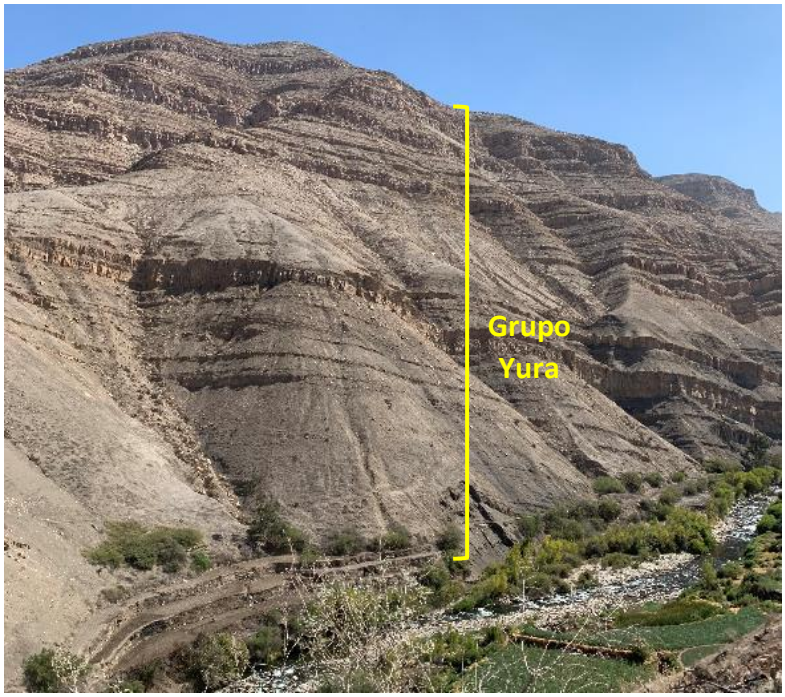


Figura 8. Montaña en roca sedimentaria (Grupo Yura).

- **Montaña en roca metamórfica (M-rm)**

Corresponde a afloramientos de rocas metamórficos tipo gneis migmatítico, presenta altitudes menores a 3170 m s.n.m. y pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°). Esta geoforma se encuentra al oeste del distrito de Yura.

- **Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs)**

Litológicamente corresponde a rocas sedimentarias del Grupo Yura. Presentan laderas con pendientes muy escarpadas (>45°), geodinámicamente se asocian a movimientos en masa de tipo caída de rocas, derrumbes y deslizamientos.

- **Colina en roca volcanosedimentaria (C-rvs)**

Esta geoforma se encuentra sobre la planicie ignimbrítica, existe 3 colinas de baja a levemente moderada pendiente de 2500 msnm de altura. Esta zona está constituida por rocas volcano-sedimentarias de corresponden a la formación Chocolate.

- **Colina en roca sedimentaria (C-rs)**

Esta geoforma tiene menor altura que una montaña (Fig. 9), alcanzando en la zona de estudio 2800 m s.n.m. y con una inclinación de laderas de fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°). Estas geoformas presentan baja a moderada susceptibilidad a ser afectadas por movimientos en masa (caída de rocas, derrumbes y deslizamientos).

Figura 9. Colina en roca sedimentaria (Grupo Yura).

- **Colina estructural en roca sedimentaria (CE-rs)**

Se presenta en la zona de estudio con un lineamiento en dirección NO-SE, el drenaje de geoforma es paralelo. Presenta pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) y una altitud máxima de 2990 m s.n.m.

- **Colina y lomada en roca intrusiva (CL-ri)**

Corresponde a afloramientos de rocas intrusivas reducidos por procesos denudativos, con laderas disectadas de pendiente muy fuerte (25°-45°). Presenta una altitud máxima de 1800 m s.n.m.

- **Colina y lomada en roca volcánica (CL-rv)**

Esta geoforma ha sufrido denudación por agentes externos. Se caracteriza por presentar laderas con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) y una altitud máxima de 2590 m s.n.m.

- **Colina y lomada en roca sedimentaria (CL-rs)**

Esta geoforma corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, que fueron reducidos por procesos denudativos, con una altitud de 2400 m s.n.m. y de pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°).

- **Colina y lomada disectada en roca intrusiva (CLD-ri)**

Corresponde litológicamente a rocas intrusivas (diorita), que fue denudada por procesos aluviales, presenta altitudes menores que 2330 m s.n.m. y pendientes muy fuertes (25°-45°) a fuertes (15°-25°).

- **Colina y lomada disectada en roca volcanosedimentaria (CLD-rvs)**

Corresponde a afloramientos de rocas volcanosedimentarias, se encuentran de forma puntual al sur del distrito sobre la planicie ignimbrítica, posee pendientes suavemente inclinado (1°-5°) a moderado (5°-15°), con altitud máxima de 2430 m s.n.m.

- **Vertiente o piedemonte volcanoclástica (V-vcl)**

Se presenta al norte del Complejo Volcánico Chachani. Posee pendientes suavemente inclinadas (1°-5°) a moderada (5°-15°). Está conformada por secuencias de depósitos volcanoclásticos y sedimentos epiclásticos. Se encuentra a una altitud máxima de 4800 m s.n.m.

- **Meseta volcánica (ME-v)**

Superficie elevada y de relieve predominantemente fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°), conformada por secuencias lávicas. Se pueden producir caídas de rocas, derrumbes y deslizamiento en roca de diferentes dimensiones en los bordes de la meseta, Esta unidad geomorfológica presenta altitudes menores a 3580 m s.n.m.

3.4.2. Geoformas de carácter volcánico

- **Estratovolcán (EV)**

Esta geoforma corresponde a algunos edificios del Complejo Volcánico Chachani (Fig. 10) como Nocarane, Chingana, El Ángel, El Rodado y también al estratovolcán Baquetane. Está formado por sucesiones de flujos de lava, corrientes de densidad piroclástica (PDC) y depósitos de caídas de tefras. Estos edificios han sido afectados por la glaciación. Presenta un drenaje paralelo, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°), alcanzando una altitud máxima de 5550 m s.n.m.

Figura 10. Estratovolcanes Volcancillo, El Ángel, Chachani, Horqueta, Rodado del Complejo Volcánico Chachani.

- **Estratovolcán glaciado (EV-gl)**

Representan a estratovolcanes que han sido afectados por la actividad glaciar por encima de los 5550 m s.n.m., poseen formas irregulares, estos edificios presentan formas irregulares, poseen pendientes muy fuertes (25° - 45°), actualmente se ven afectados por las variaciones climáticas que originan el retroceso glaciar (Fig. 11).

Figura 11. Estratovolcán glaciado Chachani.

- **Cono de escoria (CO-e)**

Se ubican al oeste del Complejo Volcánico Chachani, en dirección NE-SO. Estos depósitos se encuentran conformados por depósitos de caída de tefras, domo colada y flujos de lava. Estos conos se encuentran sobreyaciendo a la ignimbrita Aeropuerto Arequipa y al Tufo Yura y subyacen a los flujos de lava del Complejo Volcánico Chachani, estas unidades presentan pendiente suavemente inclinado (1°-5°) a moderado (5°-15°) y se encuentra a una altitud máxima de 3140 m s.n.m.

- **Altiplanicie piroclástica y volcanoclástica (AP-pv)**

Esta geoforma se encuentra sobre la Ignimbrita Aeropuerto Arequipa y subyace al volcán monogenético Ccapua, en la zona de trabajo se encuentran depósitos de caída piroclástica y depósitos volcanoclásticos. Presenta pendientes suavemente inclinado (1°-5°) a moderado (5°-15°), la altitud máxima es 2780 m s.n.m.

- **Planicie piroclástica y volcanoclástica (PL-pv)**

Son áreas extensas, localizadas al suroeste, del distrito de Yura, forman un relieve suave. Están conformadas por depósitos de caída piroclástica de bloques y ceniza asociados a los domos-colada Potrero y los depósitos volcanoclásticos están conformados por afloramientos de lahares intercalados con los niveles de los depósitos piroclásticos. Estas planicies se encuentran disectadas por distintas quebradas poco profundas que forman un drenaje dendrítico. Presentan en su mayoría pendientes suavemente inclinado (1°-5°).

- **Planicie ignimbrítica (PL-ig)**

Se conforma por depósitos de corrientes de densidad piroclástica, provenientes de un volcán antiguo. La planicie posee poca pendiente entre suavemente inclinado (1°-5°) a moderado (5°-15°), se encuentra surcada por quebradas que tienen entre 5 a 100 metros de profundidad. Presenta una altitud promedia de 2590 m s.n.m (Fig. 12).

Figura 12. Planicie ignimbrítica del Aeropuerto Arequipa.

- **Colina o lomada de ignimbrita (CL-ig)**

Esta unidad morfológica corresponde a depósitos del Tufo Yura, en la zona de estudio se encuentra al oeste del distrito de Yura. Presentan pendientes variables entre moderada (5°-15°) a muy fuerte (25° - 45°). La altitud máxima es de 4000 m s.n.m. se encuentran disectadas por valles y quebradas.

- **Ladera piroclástica y volcanoclástica (LA-pv)**

La ladera piroclástica y volcanoclástica está relacionada a afloramientos de depósitos de corrientes de densidad piroclástica de bloques y ceniza, de tefra, de lahares y volcanoclásticos del Complejo Volcánico Chachani. Estos depósitos se caracterizan por presentar material no consolidado, drenaje paralelo. Presentan pendientes moderadas (5°-15°) a fuerte (15° - 25°). Estos depósitos se encuentran a 4700 m s.n.m. de altitud máxima.

- **Flujo de lava en bloques del pleistoceno tardío (FL-bpt)**

En el distrito de Yura se observan flujos de lava en bloques pertenecientes al Complejo Volcánico Chachani (Fig. 13), principalmente en las partes altas de los edificios, muchos de estos flujos de lava se encuentran bastante erosionados. Sin embargo, en algunos flujos de lava, se puede identificar la dirección de flujo. Los flujos de lava alcanzan distancias máximas de 5 km desde la fuente de origen y poseen espesores que oscilan entre 30 y 170 metros en los frentes de lava.

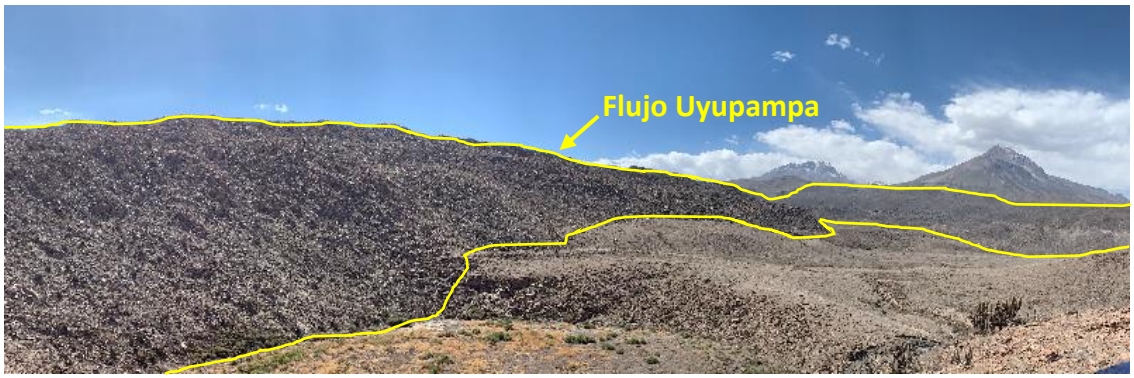


Figura 13. Flujos de lava en bloques del pleistoceno tardío (Flujo Uyupampa).

- **Domo de lava (DO-la)**

En el área de estudio se distinguen 3 domos de lava de forma cónica. Con pendientes muy fuertes (25° - 45°) a muy escarpadas (>45°). El domo El Rodado presenta una estructura en forma de herradura abierta hacía el sureste con un ancho estimado de 1.2 km. El domo La Horqueta tiene forma de cúpula y tiene una altura visible de 800 a 900 m. El domo Volcancillo (Fig. 14) se ubica en la parte central de una estructura en forma de herradura en el edificio Chingana del Complejo Volcánico Chachani, posee un área aproximada de 1.01 km2 y un espesor de 354 m, encontrándose una altitud máxima de 5190 m s.n.m.

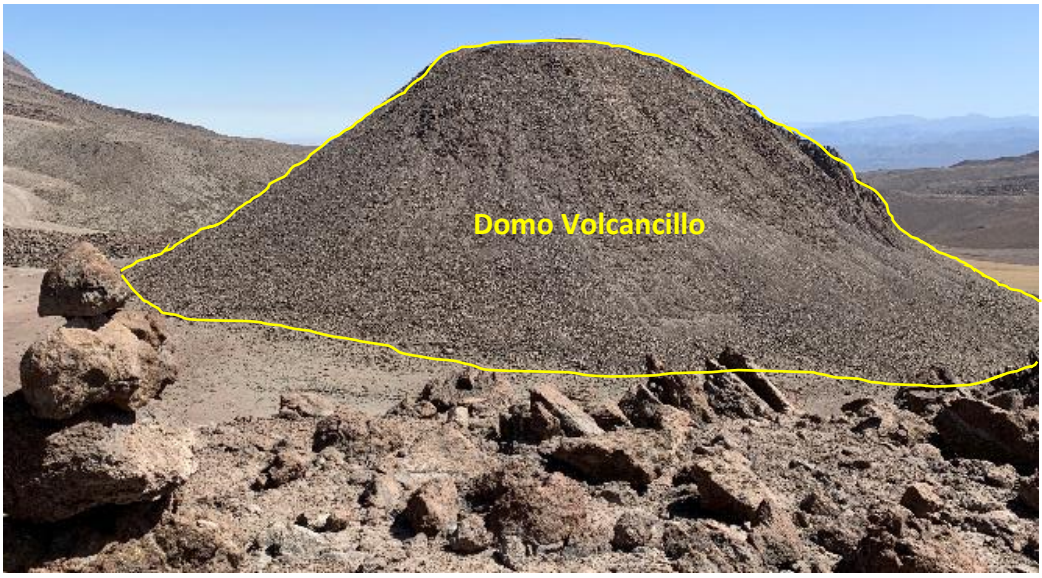


Figura 14. Domo de lava (volcancillo).

- **Domo-colada (DO-la)**

En el distrito de Yura se puede distinguir 2 zonas con este tipo de geoformas. El domo-colada El Colorado (Fig. 15) se ubica en el sector NNO del Complejo Volcánico Chachani, ocupando un área aproximada de 10.2 km2. La cumbre de la misma se ubica a 4480 m s.n.m. Los domos de Potrero, se ubican en el flanco suroeste del Complejo Volcánico Chachani, presentan una superficie suave y ondulada. La cima de estos domos está a 3830 m s.n.m. y cubren un área de

19.4 km2. Poseen pendientes de moderadas (5°-15°) y las laderas pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°).

Figura 15. Domos-colada Potreros, ubicados al suroeste del Complejo Volcánico Chachani.

3.4.3. Geoformas de carácter fluvial

- **Superficie o roca aborregada (S-rab)**

Estas geoformas presentan formas asimétricas en su mayoría alargadas, con tamaños que varían desde 400 metros hasta 5 km de longitud, estas geoformas se encuentran asociadas a la erosión glacial. Poseen pendientes moderadas (5°-15°) a muy fuertes (25°-45°), alcanzando 5200 m s.n.m. de altitud máxima.

- **Terraza aluvial (T-al)**

Son los niveles más antiguos de depositación aluvial, localizándose en los valles fluviales al suroeste del distrito posee pendientes moderadas (5°-15°) y se encuentra a una altitud de 1500 m s.n.m.

- **Abanico de deshielo (A-d)**

Corresponde a depósitos fluvioglaciares, producto del deshielo de los glaciares, se ubican cercanos al domo Volcancillo. Estos depósitos se caracterizan por presentar drenaje dendrítico con quebradas de poca profundidad entre 1 y 5 metros. Poseen pendientes moderadas (5°-15°) a suavemente inclinado (1°-5°). Se encuentra a una altitud máxima de 5000 m s.n.m.

- **Piedemonte aluvial (P-a)**

Esta unidad corresponde a una planicie inclinada que se extiende al pie de las montañas, ha sido formado por la sedimentación de las corrientes de agua estacional. Estas geoformas poseen

pendientes suavemente inclinados (1°-5°) a moderados (5°-15°). La altitud máxima es de 4500 m s.n.m.

- **Planicie aluvial (PL-a)**

Posee un relieve semi plano con pendientes suavemente inclinadas (1°-5°), se encuentra limitada por la planicie aluvial con las planicies piroclásticas y volcanoclásticas, además presenta un drenaje paralelo. Presenta una altitud máxima de 4080 m s.n.m.

- **Abanico aluvial (A-a)**

Es una geoforma deposicional que se ubica al este del distrito de Yura a altitudes menores a 4300 m s.n.m. se encuentra en la base o piedemonte de frentes montañosos. Esta unidad posee pendientes suavemente inclinados a moderados suavemente inclinados (1°-5°) a moderados (5°-15°).

3.4.4. Geoformas de carácter glacial

- **Morrena neoglacial (MO-n)**

Estas geoformas se originaron durante los últimos 12 ka, se encuentran descendiendo de los edificios volcánicos como El Nocarane, Chachani, El Ángel y Chingana. Posee formas alargadas y sinuosas, con 4600 m s.n.m. de altitud, varias llegando a preservar los frentes centrales, Presenta pendientes muy fuerte (25°-45°) a fuertes (15°-25°).

- **Morrena anterior al máximo avance glacial (MO-amag)**

Estas morrenas se ubican al noreste del distrito de Yura, alcanzan hasta 4,3 km de distancia y se encuentran a 4810 m s.n.m. de altitud. Presentan superficies ovaladas con espesores de 300 metros, ancho de 1.3 km aproximadamente y pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°).

3.2.5. Geoformas de carácter deposicional o agradacional

- **Abanico de piedemonte (Ab)**

Constituye el depósito generado por el movimiento en masa complejo que se canalizó por una quebrada antigua. Posee en su mayoría pendiente suavemente inclinado (1°-5°) y se encuentra a 4225 m s.n.m.

- **Valle (Vll-e)**

Esta geoforma se encuentra ubicado al oeste del distrito de Yura. Las paredes del cañón del río Chili presentan pendientes muy fuertes (25°-45°) a muy escarpadas (>45°) aproximadamente alcanzando una profundidad de 800-1000 m. Se ubica a una altitud promedio de 4050 m s.n.m.

3.4.5. Geoformas de carácter antrópica

- **Cantera (CA)**

Esta unidad antrópica extrae y elabora cemento utilizando las rocas del Grupo Yura, esta unidad posee una extensión de 1.8 km se encuentra a una altitud de 2600 m s.n.m. Presenta pendientes suavemente inclinado (1°-5°) a moderado (5°-15°).

- **Cauce o quebrada antropizada (CC-qat)**

Se trata de cauces con un contorno irregular y alargado, encontrándose depósitos cuaternarios, sobre los cuales se desarrolla actividad agrícola en las terrazas, de igual forma se encuentran asentamiento de viviendas. Presenta pendientes suavemente inclinadas (1°-5°) y moderada (5°-15°) (Fig. 16).

Figura 16. Quebrada antropizada en el distrito de Yura.

- **Represa Aguada Blanca (RA)**

Esta geoforma antrópica se construyó en 1972, perteneciente a la Cuenca del Río Chili llegando a alcanzar una altitud de 3740 m s.n.m, con una longitud máxima de 80 metros de ancho con una capacidad de 43 Hm3.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

Para el análisis geológico se hizo uso de Cartas Geológicas elaboradas por el INGEMMET a escala 1: 100 000 al cuadrángulo de Chivay (32s), Callalli (32t) y 1: 50 000. Posteriormente en el proyecto GA17D "Estudio de peligros del Complejo Volcánico Chachani" (2018, 2019, 2020 y 2021) y el proyecto GA17F ": Estudiar y Evaluar los peligros de los volcanes Chachani" desarrollado a escala 1: 25 000 (Anexo: mapa 3) se localizan las siguientes formaciones y/o secuencias.

4.1. Unidades Litoestratigráficas

4.1.1. Batolito de la Costa

Es un conjunto de rocas intrusivas que conforman el batolito de la Costa en el distrito de Yura aflora 3 super unidades: Punta Coles (Ji-mzto), litológicamente se encuentran conformados por monzodioritas y dioritas; Ilo (Ki-to/di), litológicamente se encuentran se encuentran granodioritas, de hornblenda, diorita cuarcífera dioritas e incluso algunos cuerpos de granito y Linga Ica (Ks-mzgr), litológicamente se constituye de dioritas, monzodioritas y cuarzo-sienitas (Vargas, 1970).

4.1.2. Formación Chocolate (Ji-cho)

La formación Chocolate está compuesto por rocas de origen volcanosedimentario, constituidas por areniscas de color violáceo y calizas del mismo color, parte de ellas sufrieron metamorfismo formando mármol o silisificados (Vargas, 1970).

4.1.3. Formación Socosani (Jm-so)

Corresponde a rocas sedimentarias de origen marino, litológicamente está compuesta por lutitas intercaladas con calcarenitas fosilíferas y calizas. En base a la evidencia paleontológica (Benavides, 1962) le asigna una edad comprendida entre el Toarciano superior al Bajociano medio (Vargas, 1970).

4.1.4. Grupo Yura (Gr-yu)

Se encuentra con discordancia erosional sobre la formación Socosani. (Benavides, 1962) los cataloga como miembros, que descritos de la base al techo son las siguientes: Puente (Jm-p), Cachíos (Jm-ca), Labra (Jm-l), Gramadal (Jm-g), Huallhuani (Ki-hu) (Fig. 17). Posteriormente, Wilson y García elevan de miembros a formaciones a las unidades del Grupo Yura (Vargas, 1970).

Figura 17. Miembros de composición sedimentaria del Grupo Yura.

4.1.5. Formación Murco (Ki-mu)

La Formación Murco se presenta en concordancia sobre la formación Huallhuani (Grupo Yura), se compone principalmente por lutitas oscuras y pizarras blandas con predominancia de areniscas abirragadas. Estas secuencias se encuentran formando los flancos de los anticlinales y sinclinales de la zona (Vargas, 1970).

4.1.6. Formación Arcurquina (Kis-ar)

Se encuentra concordarte con la Formación Murco, está constituida por fangolitas y areniscas marrón rojizas que se intercalan con capas gruesas de calizas. En la parte superior presentan venillas de calcita y yeso. La Formación Arcurquina la caracteriza el contenido de chert, en capas lenticulares, concreciones y nódulos (Vargas, 1970).

4.1.7. Formación Chilcane (Ks-chi)

La Formación Chilcane posee depósitos yesíferos, se encuentran discontinuos y con volúmenes irregulares, es concordante hacia la base, mientras que en la parte superior se encuentra en contacto con la Formación Huanca debido a una falla normal (Vargas, 1970).

4.1.8. Formación Huanca (P-hu)

Está formada por areniscas arcósicas los cuales contienen lentes e intercalaciones de conglomerados, los cuales gradualmente van aumentando hasta predominar en los niveles superiores. Estos conglomerados están constituidos por areniscas, cuarcitas e intrusivos muy alterados. Los clastos son generalmente redondeados a subredondeados (Vargas, 1970).

4.1.9. Grupo Tacaza (PN-t)

El conjunto litológico, predominantemente volcánico ocupa una extensa área. Estratigráficamente se encuentra en discordancia angular sobre la Formación Huanca y formaciones Mesozoicas (también se encuentra sobre rocas intrusivas) e infrayace con discordancia angular al volcánico Sencca. Este grupo se divide en una unidad inferior (sedimentaria), unidad media (tufácea) y superior (lávica) (Vargas, 1970).

4.1.10. Formación Sencca (N-se)

Esta unidad se encuentra cubriendo con discordancia angular al grupo Tacaza e infrayace con discordancia erosional al conglomerado aluvial pleistocénico y a los volcánicos del grupo Barroso. Los depósitos tufáceos por lo general son compactos, con una cohesión apreciable, se presentan en bancos gruesos mostrando muchas veces una disyunción prismática, dando lugar a bloques columnares, cortando planos horizontales (Vargas, 1970).

4.1.11. Formación Capillune (N-ca)

La formación Capillune yace sobre el volcánico Sencca e infrayace al Grupo Barroso. Litológicamente está constituida por areniscas, arcillas, conglomerados y piroclásticos que se presentan en capas delgadas (Guevara, 1969).

4.1.12. Formación Ocoruro (Np-oc)

Está conformado por una sucesión de conglomerados polimícticos con clastos de granodioritas, calizas y cuarcitas, con tamaños de clastos entre 0.2 a 1.2 m. Hacía el techo presenta intercalaciones de lutitas y areniscas.

4.1.13. Grupo barroso (Np-b-and)

Estos depósitos corresponden a depósitos volcánicos, consiste de lavas andesíticas en bancos gruesos, gris oscuras y gris claras, intemperizadas. La textura es porfirítica con fenocristales bien desarrollados de plagioclasas, hornblenda y biotita.

4.1.14. Ignimbrita (Qp-I)

Esta unidad está formada por capas de lapilli de color amarillo y blanquecino, que contienen pequeños fragmentos de pómez, lavas y algunas escorias y bombas cementados por ceniza en parte arenosa y poco consolidada.

4.1.15. Ignimbrita Aeropuerto Arequipa (Qp-IAA)

Este depósito piroclástico se encuentra se encuentra rellenando la depresión de Arequipa. Litológicamente se encuentran conformadas por depósitos de pómez y ceniza poco a medianamente consolidada de color blanquecino y rosácea. Se encuentra compuesta por cristales libres de plagioclasas y biotita, fragmentos de pómez fibrosos de hasta 5 cm y la matriz engloba a los cristales libres y ceniza (Fig. 18), además se observaron líticos de origen volcánico (andesítico) de hasta 4 cm y líticos sedimentarios (arenisca y lutita).

Figura 18. Ignimbrita Aeropuerto Arequipa al suroeste del Complejo volcánico Chachani.

4.1.16. Ignimbrita Tufo Yura (Qp-ITY)

Esta unidad corresponde a depósitos de ceniza y cristales libres, compuesto por pómez fibrosos blanquecinos de hasta 4 mm, además presenta enclaves de origen volcánico de composición andesítica y xenolitos de hasta 2 cm (Fig. 19).

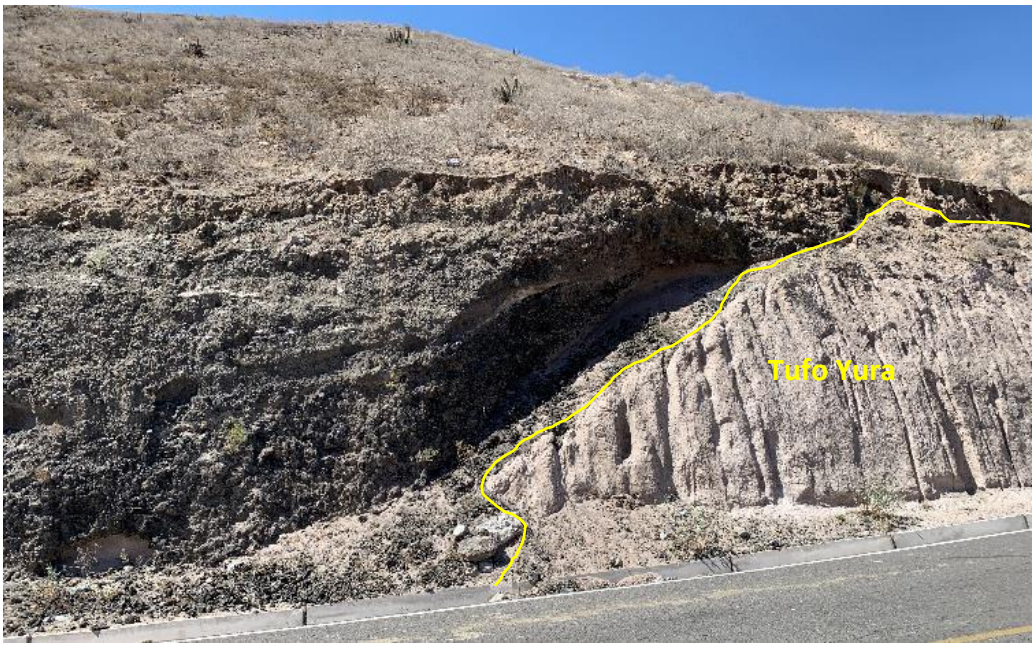


Figura 19. Ignimbrita Tufo Yura infrayaciendo a los depósitos de tefra del volcán monogenético de Uyupampa.

4.1.17. Flujos de lava Chachani basal (Qp-Bch)

Dos unidades de lava andesítica representan la actividad más temprana de Complejo Volcánico Chachani (<1.2 Ma). Como fueron emplazados directamente sobre Tufo Yura, pero subyacen al estratovolcán Nocarane. Consisten en flujos de lava andesítica canalizados. La segunda unidad de flujos de lava no canalizados se emplazó sobre depósitos volcanoclásticos y afloró al norte de la cuenca de Arequipa debajo de El Rodado (<640-400 ka) y los Domos del Aeropuerto (400-290 ka).

4.1.18. Edifico Chingana (Qp-Chi)

Este edifico se encuentra al noreste del Complejo Volcánico Chachani, este edificio es el más antiguo del CVC. Las Lavas de la unidad inferior (Qp-Chi1 y 2) fluyeron hasta una distancia de 7 km del centro de emisión, presentan una composición andesita basáltica y una morfología ondulada. Uno de los flujos de lava basal en el flanco noreste del Chingana fue datado en 1012 ± 53 ka. La parte central del estratovolcán Chingana (Qp-Chi3), se encuentra muy erosionada y está cortado por un anfiteatro abierto hacia el oeste y al este, mientras que, sus flancos fueron parcialmente cubiertos por lavas andesíticas que provienen de otros volcanes como el Nocarane y El Ángel. La unidad intermedia está formada por lavas andesitas, y la unidad superior de Chingana consiste en flujos de lava y escorias rojizas, las cuales tienen una composición de andesita basáltica. Una muestra de lava de la unidad media del estratovolcán Chingana ha sido datada en 916.05 ± 41.1 ka (Aguilar et al., 2022) (Fig. 20).

Figura 20. Edificio Chingana al noroeste del Complejo Volcánico Chachani.

4.1.19. Flujos de lava cajón Puquio (Qp-caj)

Depósitos de lava poco preservados, emplazados antes que los volcanes Chachani y Misti.

4.1.20. Edificio Nocarane (Qp-No)

Estratovolcán Nocarane al menos cinco unidades superpuestas: la unidad inferior (Qp-No1) ubicada en la parte norte y noroeste del edificio que consiste de depósitos de flujos de escoria, depósitos de caída de pómez intercalados con caídas de escoria, y flujos piroclásticos de pómez y ceniza. Flujos de lava andesítica (Qp-No2) de color gris oscuro que se encuentra subyaciendo al domo Colorado y sobreyaciendo a los depósitos piroclásticos de la base. Flujos de lava en bloques (Qp-No3) que afloran hacia el norte y noroeste, alcanzan hasta 9 km de distancia, y se observa que el flujo de lava más extenso aún conserva estructuras de levées, seguida por flujos de lava (Qp-No4) localizadas en el sector noroeste del CVC que tienen un alcance máximo de 8 km y espesores de hasta 100 m; y flujos de lava y domos (Qp-No5) emplazados en la parte superior y hacia el sector norte y noreste. En efecto, en la parte alta del edificio en medio de un anfiteatro de 2 km de ancho, abierto hacia el noroeste, se emplazó un domo (Qp-No5) (Fig. 21).

Figura 21. Edificio Nocarane.

4.1.21. Edificio Estribo (Qp-Es)

Este estratovolcán está ubicado en el borde sureste del complejo Chachani (Fig. 22). Los flujos de lava ~0.84 Ma fluyeron 14 km en el valle temprano del Río Chili hasta el borde de la ciudad de Arequipa. La base de Estribo exhibe sedimentos volcanoclásticos y rocas hidroclásticas. Estos depósitos afloran sobre ignimbritas de 1.62 Ma y 1.40 Ma (Paquereau Lebti et al, 2006). Señalan la erosión de edificios más antiguos que fueron testigos de los primeros productos post caldera de Complejo Volcánico Chachani (Aguilar, 2015).

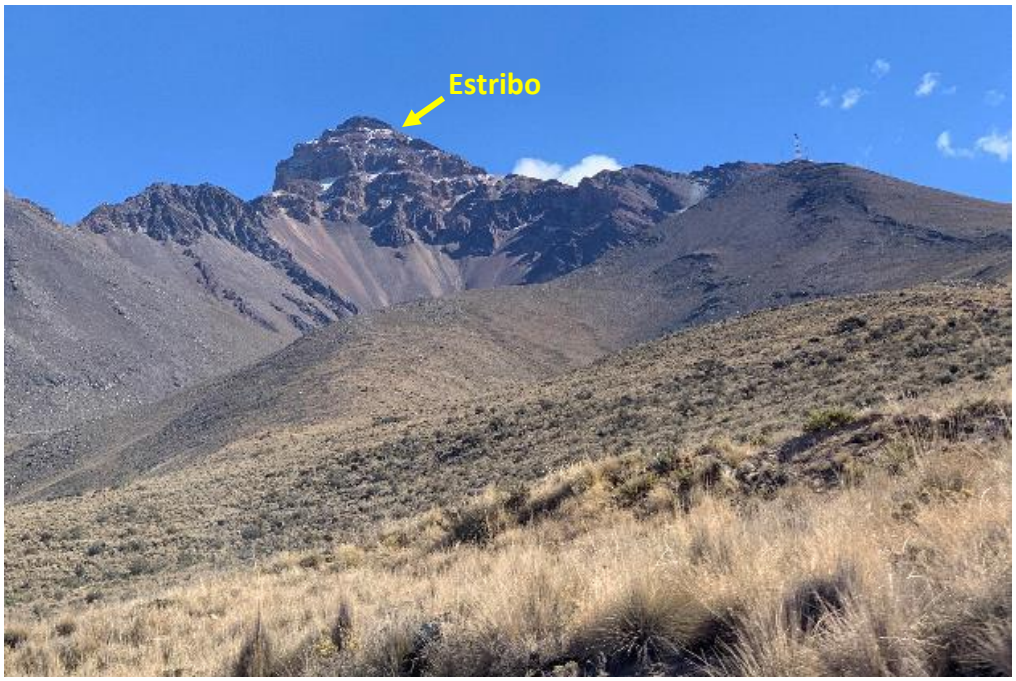


Figura 22. Estratovolcán Estribo, ubicado al este del distrito de Yura.

4.1.22. Edificio El Ángel (Qp-Ang)

Este pequeño estratovolcán (~3 km3) ha sido erosionado (cicatriz abierta hacia el oeste) (Fig. 23) pero ha cubierto los estratovolcanes Chingana y Estribo. Está formado por una sucesión de cuatro flujos de lava de andesita (Ang1-Ang4). 2 cráteres aún son visibles (Aguilar, 2015).

Figura 23. Estratovolcán El ángel.

4.1.23. Edificio Colorado (Qp-Col)

El Colorado es un domo-colada, que se ubica más al norte del Complejo Volcánico Chachani. Ha sido construido por dos eventos extrusivos como una chimenea lateral de forma tabular del estratovolcán Nocarane. Consiste en dos andesitas porfídicas superpuestas fechadas en 641,8 ± 88,2 ka (Aguilar, 2015).

4.1.24. Edificio El Rodado (Qp-Ro)

El Rodado se ubica en el flanco occidental del Chachani (Fig. 24). La unidad inferior está formada por flujos de lava porfídica andesítica (Ro1 y Ro2). Fueron emplazados sobre depósitos volcanoclásticos erosionados que se superponen a las ignimbritas del Aeropuerto de Arequipa en las pendientes altas de la cuenca. La unidad intermedia consiste en flujos de lava de andesita porfídica (Ro3-Ro5) (Aguilar, 2015).

Figura 24. Estratovolcán El Rodado al suroeste del Complejo Volcánico Chachani.

4.1.25. Edificio La Horqueta (Qp-Ho)

Este edificio se superpone al edificio El Rodado hacia el este. Sus productos eruptivos se extienden hacia el sureste hasta 13 km y ~7 km en el lado noroeste. La unidad inferior consiste en flujos de lava andesítica y flujos de lava en bloque (Ho1-Ho2). La unidad intermedia consiste en flujos de lava andesítica (Hor3 y Hor4). Esta unidad se constituye por pilas de flujos de lava emplazados en el lado sureste del edificio a unos 7 km del respiradero (Aguilar, 2015).

4.1.26. Edificio Potreros (Qp-Dp)

Se trata de un gran complejo de domos y domo-colada, inusual por su extensión (67,84 km2) y volumen (~8-10 km3). Estas unidades se construyeron en el extremo sur del Chachani y sobre la cuña norte de la depresión de Arequipa. Las unidades inferior y media de este cúmulo consisten en lavas porfídicas andesítico-dacíticas datadas en 397±40 ka (Dp1) y 369±62 ka de edades 40Ar/39Ar (Dp3) (Aguilar, 2015). Flujo piroclástico de bloques y ceniza (Qp-Fp), estos depósitos piroclásticos de bloques y ceniza, se originan producto del colapso de domo, representa uno de los depósitos de corrientes piroclásticas de gran densidad y más recientes en la zona de estudio. Se encuentran asociados a los domos Potrero (Aguilar, 2015).

4.1.27. Flujos de lava Uyupampa (Qp-Uyu)

Corresponde a un campo de flujos de lava andesítico de tipo AA y de bloque emplazados en el borde más occidental del Complejo Volcánico Chachani. Los depósitos de flujos de lava andesítica alcanzan los ~100 metros de espesor y cubren los flujos de lava del estratocono El Rodado. Al extremo oeste, estas lavas se sobreponen directamente sobre las ignimbritas Aeropuerto de Arequipa y sobre los depósitos de volcán monogenético de Ccapua (Aguilar, 2015).

4.1.28. Edificio Chachani (Qp-Ch)

Este estratovolcán es el edificio más reciente y más alto, con una altura de 6057 m sobre el Complejo Volcánico Chachani. Consta de tres unidades que se construyeron en la parte central del complejo. La unidad inferior ha arrojado una edad de 131 ± 4 ka y consiste en flujos de lava andesítica (Cha1-Cha5) (Fig. 25) (Aguilar, 2015).

Figura 25. Estratovolcán Chachani.

4.1.29. Volcanes monogenéticos (Qp-mon)

Localizado al oeste del CVC, se alinean con el volcán monogenético Nicholson en dirección NE-SO. En el sector de Ccapua se evidencia que los conos monogenéticos sobreyacen a la ignimbrita Aeropuerto de Arequipa y al Tufo Yura, y subyacen a los flujos de lava Uyupampa (Fig. 27). En el campo monogenético se han identificado depósitos de flujos de lava, flujos piroclásticos de escoria, secuencias de caída de ceniza, escoria y lahares los cuales fueron afectados por la falla Ayo-Lluta-Arequipa (Benavente et al, 2017).

Figura 26. Cráter del volcán monogenético de Ccapua.

4.1.30. Formación Cuico (Qp-Cu)

En la zona de estudio se ubica al sur y sureste, conformado litológicamente por lutitas y areniscas gris oscura, por sectores en la parte inferior se encuentra conglomerados fluviátiles a la base y una interestratificación de bancos de arenas gravosas y arenas con intercalaciones de capas de cenizas volcánicas y la parte superior, de naturaleza lodolítica.

4.1.31. Domo Volcancillo (Qp-Vol)

El Volcancillo consiste en un domo de lava dacítico y un flujo corto que fueron emplazados en un antiguo cráter del estratovolcán Chingana. Su posición y conservación permiten sugerir que se trata de la edificación más reciente y quizás una de las más recientes del Chachani (Fig. 26).

Figura 27. Domo Volcancillo.

4.1.32. Depósitos volcanoclásticos (Qp-Volc)

Se han identificado estos depósitos hacía el sur y oeste del distrito de Yura, la mayoría de ellos se encuentran adosados a las laderas de las quebradas que descienden del Complejo Volcánico Chachani.

4.1.33. Depósitos piroclásticos (H-pi)

Estos depósitos piroclásticos más recientes son caídas de ceniza color gris, que poseen algunos centímetros de espesor en el área de Arequipa, asociados posiblemente a una erupción vulcaniana ocurrida entre los años 1440 y 1470 años.

4.1.34. Depósito de morrena (H-Mo)

Corresponden a morrenas asociadas al Complejo Volcánico Chachani. Poseen formas alargadas. Presenta una mezcla heterogénea de bloques de rocas esencialmente volcánicas, incluidos dentro de una matriz areno-limosa suelta (Fig. 28).

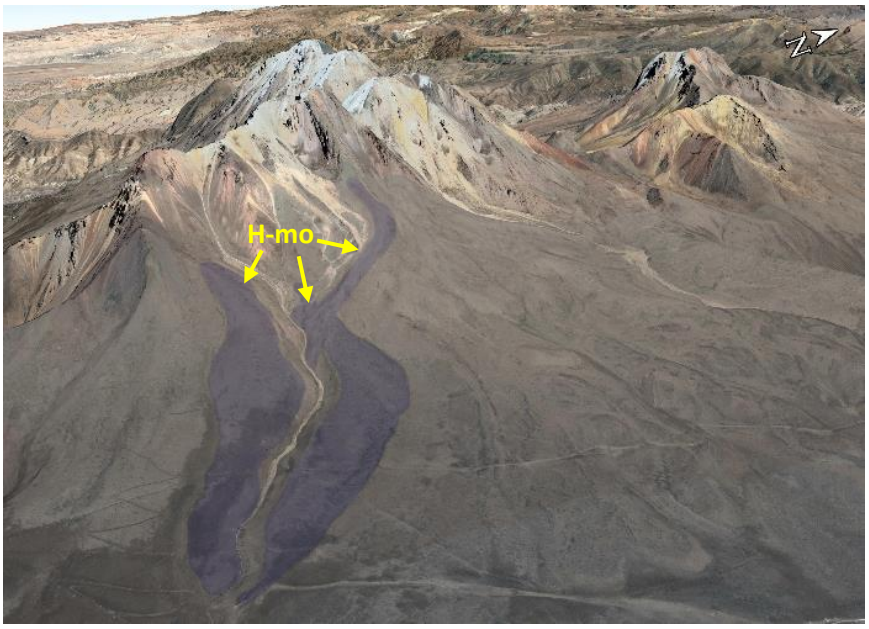


Figura 28. Depósito de morrenas en el edificio Estribo.

4.1.35. Depósito fluvioglacial (H-Flg)

Los depósitos fluvioglaciares se encuentran en los flancos de los edificios Estribo, Chachani, El Ángel, Nocarane y Chingana; estos depósitos mayormente se encuentran en los bordes de los flujos de lava. Se caracterizan por presentar grava y arena formada frente a glaciares de los edificios volcánicos formando surcos glaciares.

4.1.36. Depósito coluvial (H-Co)

Los depósitos coluviales se ubican en algunos flancos del volcán, frentes de los flujos de lava y las montañas estructurales en roca sedimentaria. Se caracterizan por presentar clastos angulosos, centimétricos y decimétricos. En muchos casos estos depósitos se encuentran formando secuencias interestratificadas con lahares.

4.1.37. Depósito aluvial (H-Al)

Los depósitos aluviales se encuentran en las quebradas aledaños al Complejo Volcánico Chachani, formando pequeñas terrazas (Fig. 29). Litológicamente están conformados por gravas, bloques lávicos subredondeados y subangulosos de tamaños centimétricos de 2 a 10 cm y algunos incluso de 20 a 30 cm. Los más importantes depósitos aluviales afloran al sur, sureste del Complejo Volcánico Chachani sobre el cual se ubica la Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa y sector noreste donde afloran depósitos con aproximadamente 20 metros de espesor, afectados por una zona de cizallamiento.

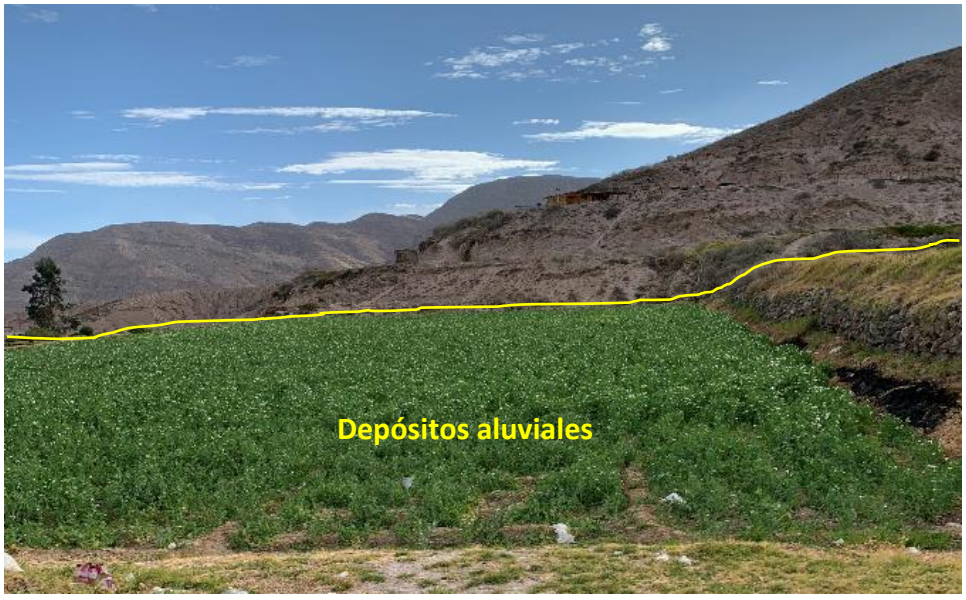


Figura 29. Depósitos aluviales al oeste del distrito de Yura.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

5.1. PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (LAHARES)

El principal peligro geológico identificado corresponde a un movimiento en masa, tipo flujos de detritos (lahares), cuyo factor desencadenante son las precipitaciones pluviales (lluvias), que contribuyen a la desestabilización de las laderas o taludes. Identificándose lahares antiguos del

Pleistoceno y del Holoceno, así como depósitos de lahares recientes que se encuentran en el cauce de las quebradas.

Para el Complejo Volcánico Chachani, se ha elaborado el mapa de peligros volcánicos por lahares (Anexo: Mapa 4), considerándose 22 quebradas: Escalerilla 3, Escalerilla 4, Andenes, Andenes 1, Apacheta 1, Honda, Cuico, El chico, Huesos, SN4, SN5, SN6, Chingana, Coral, Huanconasi, La Paccha, SN7, Hatumpausa, Añazhuarcuna, SN8, Viscachani y Concevida, realizándose una evaluación de puntos críticos en 6 de las 22quebradas que atraviesan áreas urbanas: Escalerilla 3, Escalerilla 4, Andenes, Andenes 1, Apacheta 1 y Honda) (Fig. 30).

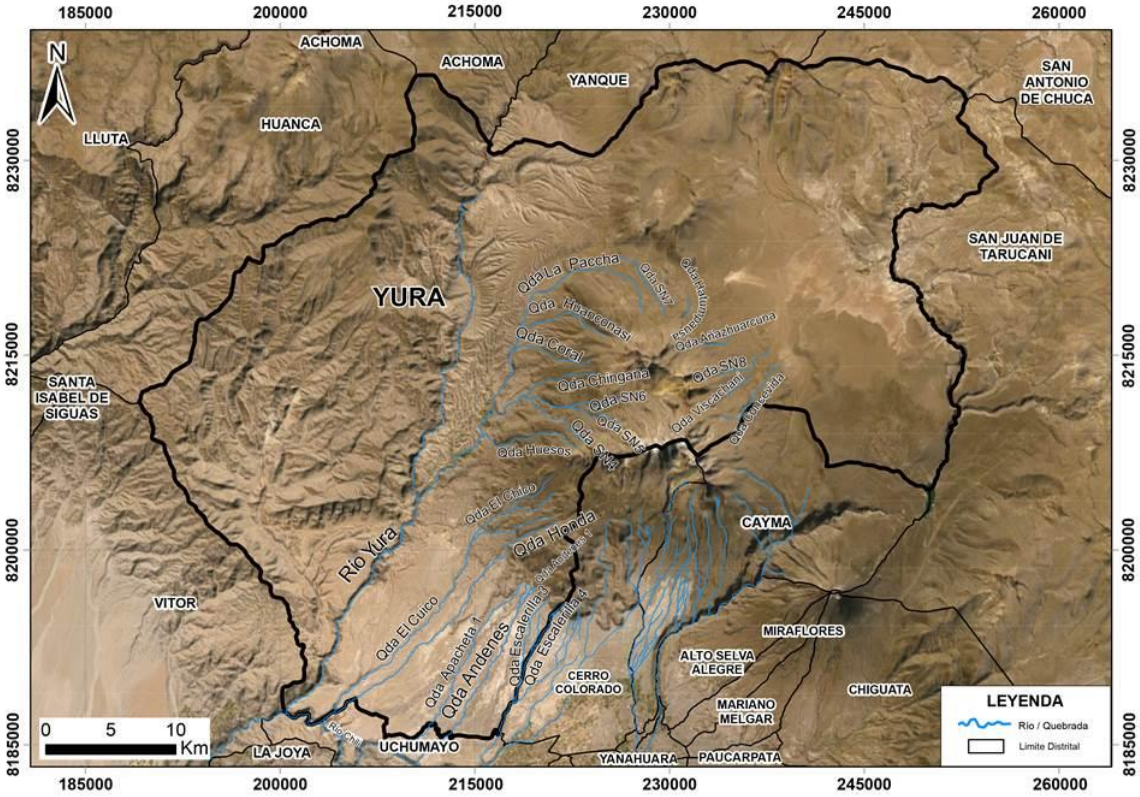


Figura 30. Mapa de ubicación de las quebradas en el distrito de Yura.

5.1.1. Quebrada Escalerilla 3

La quebrada Escalerilla 3 inicia a 2877 m s.n.m. recorriendo una distancia de 8.8 km, se ubica cercano al límite del distrito de Yura y Cerro Colorado, las pendientes son moderadas (5°-15°), con quebradas entre 17 - 107 m de ancho, se encuentra a una profundidad de hasta 40 m, la quebrada en la parte intermedia y baja confluye con la quebrada Escalerilla 4 (Fig. 31).

En el sector alto las laderas de la quebrada Escalerilla 3 presenta depósitos de bloques y ceniza asociado a los domos-colada Potreros, depósitos de lahares antiguos, y depósitos aluviales en el cauce de la quebrada con clastos heterométricos, en sector medio-inferior de las laderas de las

quebradas se observan depósitos de la Ignimbrita Aeropuerto Arequipa en muchos sectores cubiertos por lahares.

La quebrada se encuentra atravesando la A.V. Ángeles de Apipa y A.V. El porvenir sector I, VI.

Figura 31. Quebrada Escalerilla 3 (parte alta), observándose laderas con pendientes muy fuertes con depósitos de bloques y ceniza (Coordenadas UTM WGS84 219998 E, 8192994 N).

5.1.2. Quebrada Escalerilla 4

Se ubica al sur del distrito de Yura, presentando bifurcación en el sector alto, la primera alcanzando una distancia 4,7 km de y el segundo 8,5 km, esta quebrada posee moderada (5°-15°) a fuerte pendiente (15°-25°), llegando a obtener ancho de quebrada comprendido entre 10 a 110 metros, con profundidad máxima de 15 metros. Posee una altitud máxima de 2700 m s.n.m.

En el sector alto la quebrada presenta depósitos coluviales asociados a los domos-colada Potreros, material aluvial en el cauce producto del retrabajo, además material de desecho y escombros (Fig. 32). En sector medio e inferior de las laderas aflora la ignimbrita Aeropuerto Arequipa y en el cauce depósitos aluviales con clastos de tamaños centimétricos y de forma puntual depósitos adosados de lahares.

Figura 32. Material de escombros en el sector alto de la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220146 E, 8195688 N).

5.1.3. Quebrada Andenes

La quebrada Andenes nace en el flanco sur del Complejo volcánico Chachani, extendiéndose en dirección NE a SO (Fig. 33) con una extensión de 18.4 km, se encuentra a 2757 m s.n.m. (sector alto), posee pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°), el ancho de quebrada varía entre 50 – 120 metros a una profundidad de 7 a 27 metros.

Las laderas (sector alto) de la quebrada se presentan depósitos de los flujos basales del Complejo Volcánico Chachani y los flujos piroclásticos de bloques y cenizas, en el sector medio e inferior las laderas presentan depósitos de la Ignimbrita Aeropuerto Arequipa, así como depósitos de lahares antiguos y material aluvial en el cauce de la quebrada.

Figura 33. Quebrada Andenes, las laderas poseen pendientes moderadas a fuertes (Coordenadas UTM WGS84 219069 E, 8196548 N).

5.1.4. Quebrada Andenes 1

La quebrada Andenes 1 nace entre los depósitos de flujos de lava basal del Complejo Volcánico Chachani (Fig. 34) y los domos-colada Potrero, a una altitud de 2730 m s.n.m, posee una longitud de 2.3 km, las laderas presentan pendientes moderadas (5°-15°), el ancho de quebrada varía entre 60 a 145 metros, con profundidad de la quebrada es <24 metros.

En el sector alto de la quebrada se localiza depósitos de flujos de lava basal de origen andesítico del Complejo Volcánico Chachani, en el sector medio e inferior se encuentra depósitos de lahares y depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza.

Figura 34. Sector alto de la quebrada Andenes 1 (Coordenadas UTM WGS84 218868 E, 8196649 N).

5.1.5. Quebrada Apacheta 1

La quebrada Apacheta 1, se encuentra a una altitud de 2720 m s.n.m. (sector alto) y 1850 m s.n.m. (sector bajo), es decir posee un desnivel de 870 m, recorre una distancia de 17.4 km, las laderas muestran pendientes moderadas (5°-15°) a muy fuertes (25°-45°), presenta un ancho de quebrada máxima de 130 metros y a una profundidad promedio de 33 metros.

En las laderas de la quebrada Apacheta 1 se localizan depósitos de lavas basales en bloques del Complejo Volcánico Chachani (Fig. 35) y depósitos de los domos-colada Potrero, depósitos de la Ignimbrita Aeropuerto Arequipa y flujos piroclásticos de bloques y ceniza.

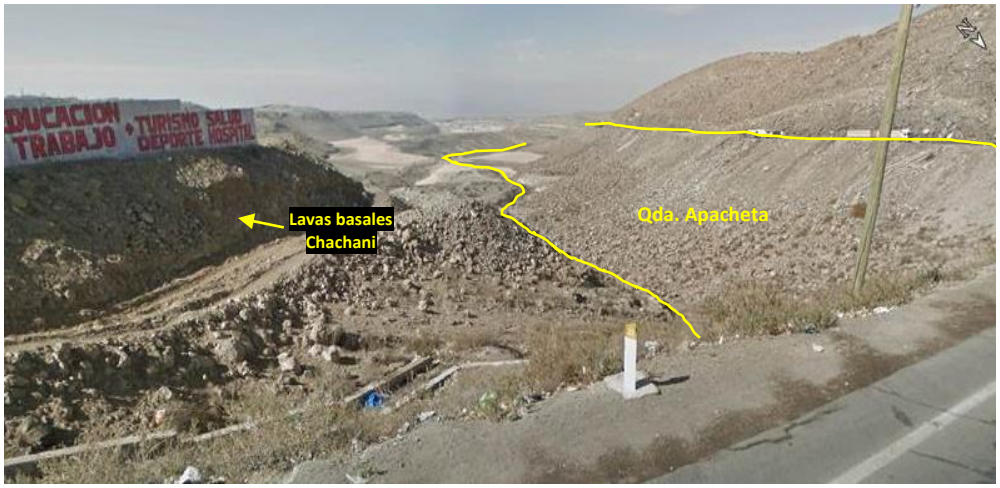


Figura 35. Quebrada Apacheta aguas abajo, hacia el lado izquierdo se observa las lavas basales del Chachani (Coordenadas UTM WGS84 215795 E, 8198476 N).

5.1.6. Quebrada Honda

La quebrada Honda inicia a una altitud de 3524 m s.n.m. y 1727 m s.n.m, presentando un desnivel de 1797 metros, con laderas poseen pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) en la cabecera de la quebrada y fuertes (15°-25°) a moderadas (5°-15°) en el sector bajo de la quebrada, posee un recorrido de 25.4 km en dirección NE-SO.

A lo largo de la quebrada se han encontrado depósitos de lava porfirítica perteneciente al edificio Colorado, lavas de los domos-colada Potrero, lavas basales del Complejo Volcánico Chachani, Ignimbrita Aeropuerto Arequipa, depósitos de bloques y ceniza (Fig. 36) y depósitos adosados de lahares antiguos y en el cauce material aluvial.

Figura 36. Sector alto de la quebrada Honda, las laderas presentan bloques de lávicos de tamaños métricos (Coordenadas UTM WGS84 215795 E, 8198476 N).

5.2. Factores condicionantes

Factor geomorfológico y de relieve

- La infraestructura en el distrito de Yura se ubica principalmente en la geoforma de planicie ignimbrítica y colina en roca sedimentaria, donde las laderas de las quebradas poseen pendientes variables, que va desde fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°).

Factor litológico

- Presencia de corrientes de densidad piroclástica de bloques y ceniza, con un bajo grado de consolidación, meteorización leve y muy fragmentada. Se tiene también corrientes de densidad piroclástica de pómez y ceniza de moderada a alta consolidación, meteorización leve, correspondiente a los edificios del CVC que se ubican al sureste y clastos de origen arenoso y lutítico con moderada consolidación y poco fragmentada correspondiente a la Fm. Cuico.

Factor antrópico

- Algunas de las infraestructuras y viviendas se encuentran construidas sobre laderas de pendiente muy fuerte (25°-45°), quedando expuestas a los flujos de detritos (lahares).

5.3. Factores desencadenantes

Dentro de los factores desencadenantes que puede generar flujo de detritos (lahares) se tiene:

- Precipitaciones pluviales intensas, estacionales y/o excepcionales, características del sector. Según los registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), mediante la estación La Pampilla señala que las precipitaciones máximas pueden llegar a 125 mm, precipitación intermedia de 50 mm y la precipitación mínima de 25 mm según los registros entre 1931 al 2020 (Fig. 2).

6. SIMULACIONES DE FLUJOS DE DETRITOS (LAHARES)

La simulación de lahares para el distrito de Yura (Anexo: Mapa 4), se realizó en el código VolcFlow (Kelfoun & Druit, 2005), es un modelo que fue desarrollado para la simulación de flujos volcánicos en el Laboratorio de magmas y volcanes, de la universidad Blaise Pascal, en

Clermont-Ferrand (Francia), por el Dr. Karim Kelfoun y colaboradores, para delimitar objetivamente las zonas de amenaza de lahares.

La simulación con el VolcFlow permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (Ecuación 1) y la cantidad de movimiento (Ecuaciones 2 y 3) (INGEMMET, 2022). Los parámetros utilizados para el modelado de los diferentes flujos se describen a continuación:

$$\frac{\partial h}{dt} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0. \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = gh\,\sin\alpha_x - \frac{1}{2}\ Kactpass\ \frac{\partial}{\partial x}(gh^2\cos\alpha) + \frac{Tx}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(hvu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2) = gh\,\sin\alpha_y - \frac{1}{2}\ Kactpass\ \frac{\partial}{\partial y}\ (gh^2\cos\alpha) + \frac{Ty}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

- h: Es el espesor del flujo
- u: = (u, v) es la velocidad del flujo
- α: Pendiente del terreno
- ρ: Densidad aparente
- T: Retardo de esfuerzo - "Savage y Hunter (1989)" Kaccpass:

Coeficiente de presión terrestre - "Inversión y Denlinger (2001)"

6.1. Procedimientos previos a las simulaciones de lahares

6.1.1. Determinación de volumen de lahar

La precipitación en la zona generará los flujos de detritos (lahares secundarios), en el distrito de Yura. En base a esto para determinar el volumen adecuado para las simulaciones de lahares secundarios es necesario tener depósitos de otros fenómenos volcánicos como depósitos de bloques y ceniza, que pueden ser removilizados con la presencia de lluvias. El volumen de esta será por la mezcla de material depositado no consolidado propenso a removilización y de la precipitación pluvial en cada drenaje en los alrededores del distrito de Yura, debido a esto es necesario determinar estos 2 volúmenes.

Según algunos autores el porcentaje varía desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua (Vásconez et al, 2009); 50 % de agua y 50 % de sedimentos (Vallance J. W., 2001); 70 % de agua y 30 % de sedimentos (Córdoba et al, 2015).

6.1.2. Determinación de quebradas y volúmenes para lahares secundarios

Para la determinación de las zonas susceptibles a lahares se realizó un análisis de las quebradas provenientes del Complejo Volcánico Chachani, que contemplan la jurisdicción del distrito de

Yura, poniendo énfasis en aquellas quebradas que pueden afectar a zonas pobladas urbanas ubicadas aguas debajo de las mismas.

En consecuencia, se ha determinado un total de drenajes por donde podrían ocurrir este tipo de peligros. Las quebradas como Escalerilla 3, Escalerilla 4, Andenes, Andenes 1, Apacheta 1 y Honda, quienes están directamente relacionadas con zonas pobladas del distrito de Yura (Fig. 30).

En cuanto a la definición de volúmenes para simulaciones numéricas, primero se ha calculado el volumen de agua entrante en cada cuenca hidrográfica, considerando la precipitación máxima diaria comprendida en la estación la Pampilla desde 1931 a 2020 (SENAMHI, 2020), el área de las líneas divisorias que trazan la separación entre dos vertientes o cuencas fluviales limítrofes. Producto de esto se obtendrá la cantidad o volumen de máxima escurrida y disponible en superficie.

Posteriormente se ha calculado el volumen de material disponible en cada cuenca hidrográfica adoptando espesores aproximados de los depósitos en cada cuenca, producto de este cálculo se obtiene volúmenes máximos de material disponible para ser mezclado con agua y generar lahares.

Finalmente, en función de la ubicación de cada cuenca hidrográfica y del tipo de material volcánico que cada una de estas puedan llegar a tener en las quebradas del CVC se ha utilizado el 60 % volumen de agua y 40 % de volumen de escombro, el cual representa el 100 % del volumen total de lahar producido.

$$Vt\ (lahar) = V_{Agua} + Vsedimentos$$
$$100\ \% \quad = 60\ \% + 40\ \%$$

Sin embargo, el cálculo de volumen de H20 es igual a la precipitación por el área de la zona de generación de lahares.

$$V_{H_2O} = Pr\ * A_{(\text{Lahares})}$$

Donde:

$\mathrm{V_{H_2O}} = \text{Volumen de H2O}$

$\mathrm{Pr} = \text{Precipitación}$

$\mathrm{A_{(Lahares)}} = \text{Área de generación de lahares (Fig. 37).}$

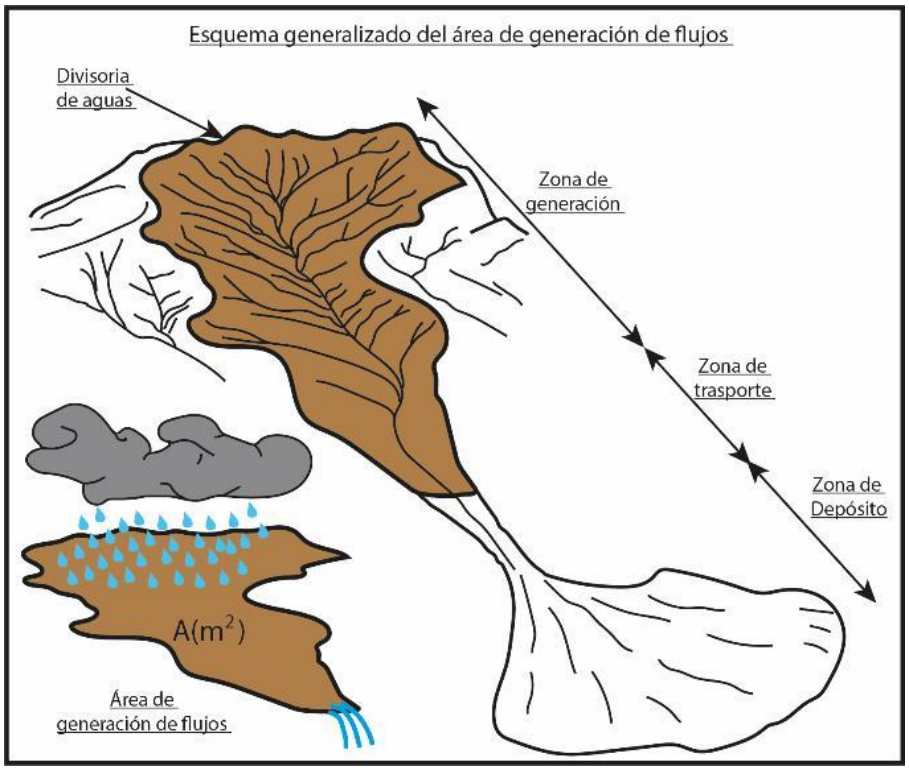


Figura 37. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios. (tomado de Soncco., Y. et al 2021. Libro de resúmenes extendidos XX Congreso Peruano de Geología, (2021)).

6.1.3. Procedimiento para simulación en VolcFlow

6.1.3.1. Preparación del modelo digital de elevación DEM

Previo a la simulación de los lahares en el VolcFlow, se debe preparar el modelo digital de elevación, con la finalidad de optimizar el tiempo de duración de las simulaciones y el reconocimiento correcto por el programa VolcFlow. Dicha preparación del DEM se realiza en el software Surfer, herramienta informática que permite la creación de mapas, visualización de datos en 2D, 3D y el geoprocesamiento. El procesamiento de cambio de formato necesario del DEM es el siguiente:

1. Abrir el DEM que por defecto se encuentra en formato .tiff
2. Se guarda sin modificar, en formato GRD Surfer 6 Binary Grid (.grd); ya que este es el formato que ha sido programado para que VolcFlow reconozca el DEM.
3. Posteriormente tendremos ya exportado el DEM en formato ".grd" listo para ingresarlo a nuestros parámetros de entrada de VolcFlow.

6.1.3.2. Definición de la fuente

La fuente debe ser definida con un área específica para ser ingresada en VolcFlow. Dicha área debe estar representada de color negro en un archivo ráster .tiff, con transparencia y del mismo tamaño que nuestro DEM a utilizar en las simulaciones, lo cual podremos realizarlo en el software Adobe Photoshop CS6.

Con el procedimiento antes indicado se logra obtener un archivo .tiff de nuestra área fuente, con transparencia y del mismo tamaño de nuestro DEM que se ingresa en VolcFlow, lo cual es clave para VolcFlow corra correctamente sin errores.

6.1.3.3. Ingreso de datos en VolcFlow

Para realizar simulaciones con el código VolcFlow, se necesita de un script adicional de fuente que debe ser desarrollado particularmente, en el cual se especifican archivos de entrada como un Modelo Digital de Elevación (DEM), el área de la fuente que se va a simular y se especifican los archivos de salida, que pueden ser una serie de datos a exportar o simplemente un video de la simulación realizada; teniendo la opción de al final de cada simulación poder manipular los resultados, existen opciones en MatLab para exportar archivos .tif .img .jpg de los depósitos de cada simulación o incluso realizar representaciones en 3D.

Aquí se especifica el DEM del área en la cual realizaremos la simulación en formato (.grd), el área de la fuente del material en formato .tiff, las dimensiones en pixeles del área de la simulación (tamaño en pixeles de nuestro DEM), el tiempo activo de alimentación del material, el volumen del material, tiempo máximo de la simulación y el valor de la gravedad.

6.2. Volúmenes empleados en la simulación de flujos de detritos (lahares)

Qda/Río	Área de generación de lahares	Precipitación			Volumen		
		BAJA	MODERADA	ALTA	Alto peligro	Moderado peligro	Bajo peligro
Escalerilla 3	538349	0.025	0.05	0.125	22431.2	44862.4	112156.0
Escalerilla 4	2483540	0.025	0.05	0.125	103480.8	206961.7	517404.2
Andenes	1767982	0.025	0.05	0.125	73665.9	147331.8	368329.6
Andenes 1	337550	0.025	0.05	0.125	14064.6	28129.2	70322.9
Apacheta 1	1180172	0.025	0.05	0.125	49173.8	98347.7	245869.2
Honda	14060999	0.025	0.05	0.125	585875.0	1171749.9	2929374.8
Cuico	7716748	0.025	0.05	0.125	321531.2	643062.3	1607655.8
El Chico	2594964	0.025	0.05	0.125	108123.5	216247.0	540617.5
Huesos	9233532	0.025	0.05	0.125	384730.5	769461.0	1923652.5
SN4	3758208	0.025	0.05	0.125	156592.0	313184.0	782960.0
SN5	2010705	0.025	0.05	0.125	83779.4	167558.8	418896.9
SN6	5348897	0.025	0.05	0.125	222870.7	445741.4	1114353.5
Chingana	2370679	0.025	0.05	0.125	98778.3	197556.6	493891.5
Coral	1273885	0.025	0.05	0.125	53078.5	106157.1	265392.7
Huanconasi	2591417	0.025	0.05	0.125	107975.7	215951.4	539878.5
La Paccha	2397557	0.025	0.05	0.125	99898.2	199796.4	499491.0
SN7	1304070	0.025	0.05	0.125	54336.3	108672.5	271681.3
Hatumpausa	3299432	0.025	0.05	0.125	137476.3	274952.7	687381.7
Añazhuarcuna	3175114	0.025	0.05	0.125	132296.4	264592.8	661482.1
SN8	2156564	0.025	0.05	0.125	89856.8	179713.7	449284.2
Viscachani	2461042	0.025	0.05	0.125	102543.4	205086.8	512717.1
Concevida	5226270	0.025	0.05	0.125	217761.3	435522.5	1088806.3

Cuadro 9. Cálculo de volumen del lahar de las quebradas del distrito de Yura, resultado de la multiplicación del área de generación de lahares por los distintos grados de precipitación (baja, media y alta).

6.3. Resultados de simulación de flujo de detritos (lahares) en el distrito de Yura.

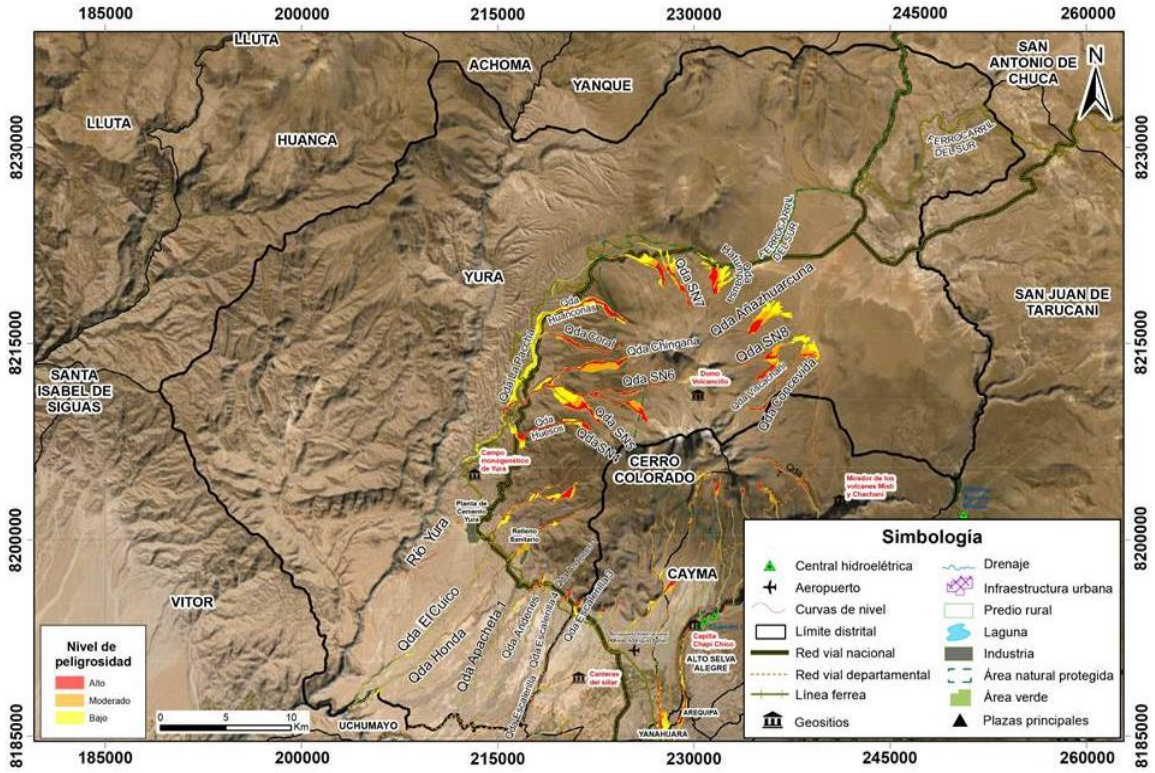


Figura 38. Mapa de lahares de los distritos del Complejo Volcánico Chachani (incluido el distrito Yura).

7. POSIBLE INFRAESTRUCTURA AFECTADA POR LAHARES

Se ha considerado como infraestructura a los cruces afirmados, instituciones educativas, estaciones de grifo, comisarias, campos deportivos, áreas recreativas y relleno sanitario; sin embargo, en algunas quebradas también se ven expuestas las viviendas para lo cual se requiere un estudio más detallado en esos sectores. Estas infraestructuras o zonas con posible afectación se encuentran en 6 de las 24 quebradas simuladas del distrito de Yura como se muestra en la (Cuadro 10).

Nombre de quebrada	Numeración	Punto crítico	Este	Norte	Nivel de peligrosidad
Escalerilla 3	1	Estación de grifo	220859.1	8195052.0	Alto
	2	I.E. Caminitos de Jesús	221332.0	8194961.6	Bajo
	3	I.E. San Maximiliano María Kolbe	220981.0	8194921.6	Moderado
	4	I.E. San Miguel Arcángel	220921.1	8194778.2	Bajo
	5	I.E. Prite Yura	220906.3	8194552.7	Bajo
Escalerilla 4	6	I.E. Bambys	220342.6	8195468.5	Moderado
	7	I.E. Piedades de ciudad de Dios	220337.0	8195425.6	Bajo

	8	Comisaria PNP “Ciudad de Dios”	220105.3	8195686.7	Alto
	9	Campo deportivo	220262.3	8195770.5	Alto
	10	Campo deportivo	220027.8	8195001.6	Alto
	11	Área recreativa	219981.1	8194865.1	Bajo
	12	Área recreativa	220009.3	8195499.3	Moderado
Andenes	13	Cruce afirmado	219070.9	8196550.3	Alto
Andenes 1	14	Cruce afirmado	218868.0	8196649.0	Alto
Apacheta 1	15	Cruce ferroviario	218392.1	8196605.8	Alto
	16	Asociación de vivienda	217555.3	8196180.5	Alto
Honda	17	Relleno sanitario	217173.3	8199255.9	Bajo

Cuadro 10. Ubicación (UTM WGS84) de los puntos críticos y el nivel de peligrosidad en las quebradas que atraviesan áreas urbanas en el distrito de Yura.

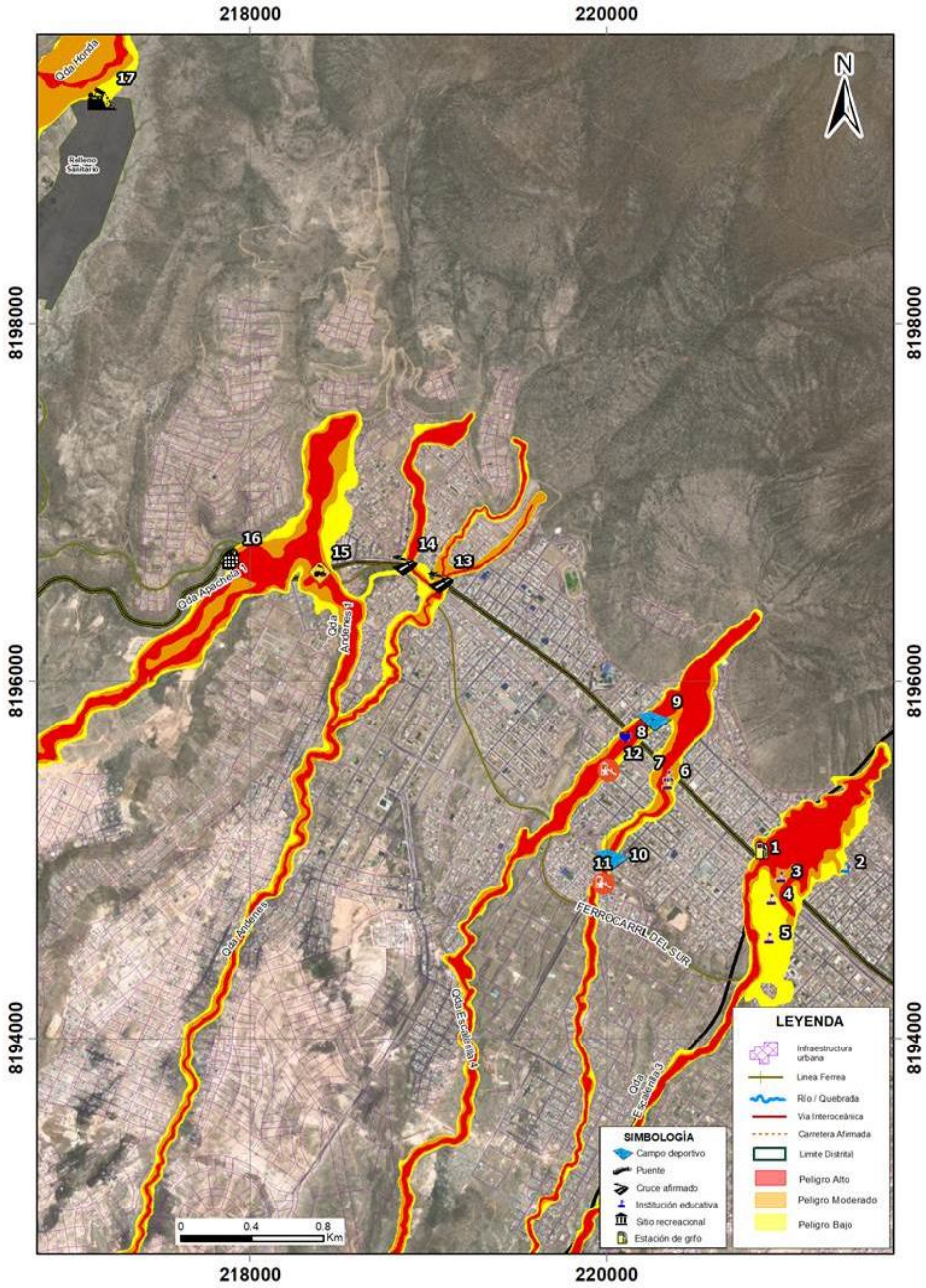


Figura 39. Mapa de puntos críticos en las quebradas del distrito de Yura.

7.1. Simulación en la quebrada Escalerilla 3

De acuerdo con los resultados de simulación para flujos de detritos (lahares) en la quebrada Escalerilla 3 se ha identificado 5 puntos críticos (Fig. 39), se observa 1 estación de grifo (Fig. 40) que podrían verse afectado con un nivel de peligrosidad alto, para un escenario de precipitación de 25 mm, con precipitaciones de 50 mm la I.E. San Maximiliano María Kolbe (Fig. 41) podría verse afectado con un nivel de peligrosidad moderado y para un nivel de peligrosidad bajo se verían afectadas 3 I.E: Caminitos de Jesús, San Miguel Arcángel (Fig. 42) y Prite Yura con precipitaciones de hasta 125 mm.

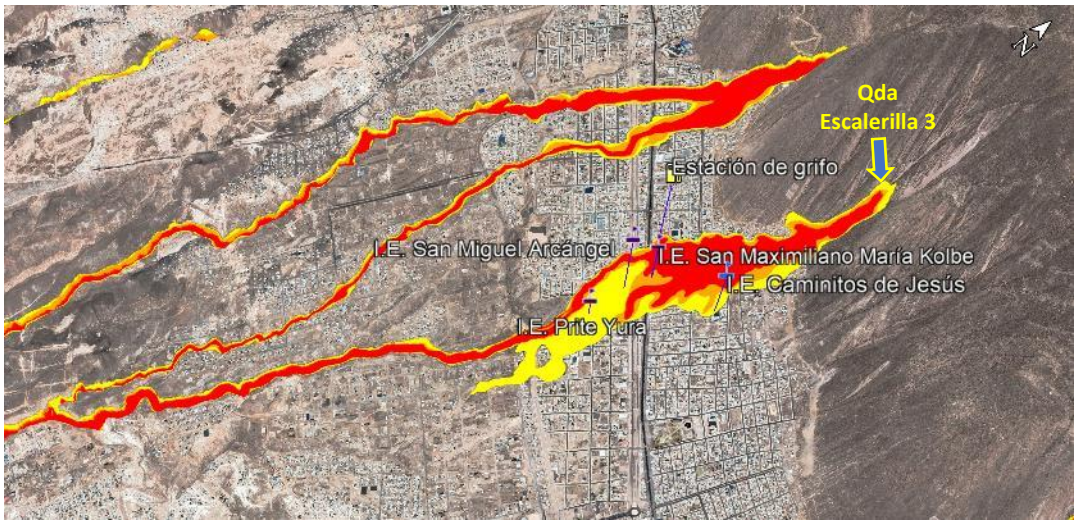


Figura 40. Simulación de lahares en la quebrada Escalerilla 3.

Figura 41. Estación de grifo, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad alto (Coordenadas UTM WGS84 220859 E, 8195052 N).

Figura 42. I.E. San Maximiliano María Kolbe, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad moderado (Coordenadas UTM WGS84 220981 E, 8194921 N).

Figura 43. I.E. San Miguel Arcángel, según la simulación se vería afectado por lahares con un nivel de peligrosidad moderado (Coordenadas UTM WGS84 220921 E, 8194778 N).

7.2. Simulación en la quebrada Escalerilla 4

La quebrada Escalerilla 4 se ha identificado 7 puntos críticos (Fig. 44), entre los cuales se encuentran 2 campos deportivos (Fig. 45, 46), 1 comisaria PNP "Ciudad de Dios" (Fig. 47) con nivel de peligrosidad alto para precipitaciones de 25 mm, para precipitaciones de 50 mm los puntos críticos serían la I.E. Bambys (Fig. 48) y 1 área recreativa (Fig. 49) con un nivel de peligrosidad moderado y con un nivel de peligrosidad bajo se vería afectado la I.E. Piedades de ciudad de Dios (Fig. 50) y 1 área recreativa para precipitaciones de 125 mm.

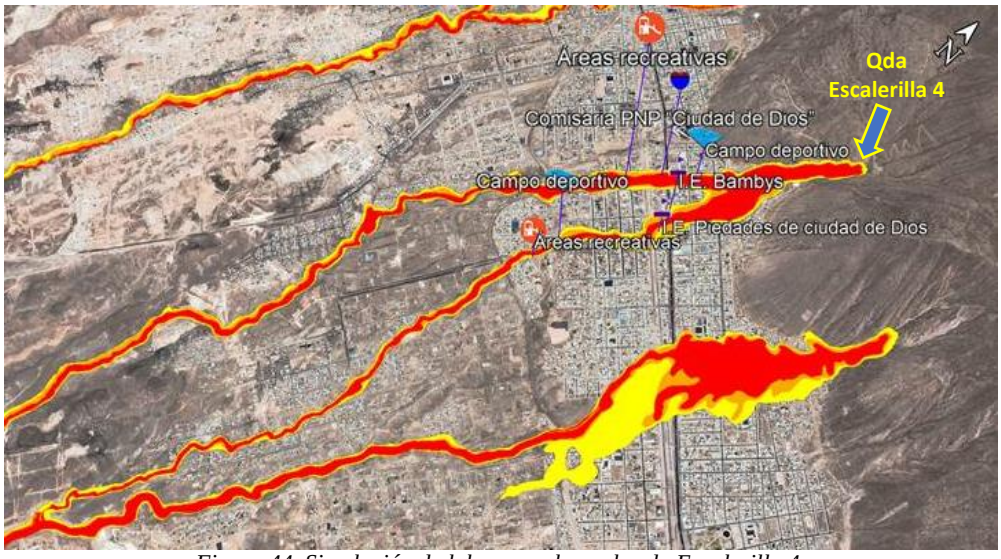


Figura 44. Simulación de lahares en la quebrada Escalerilla 4.

Figura 45. Campo deportivo ubicada en la ladera izquierda de Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220027 E, 8195001 N).

Figura 46. I.E. Campo deportivo va cerca al cauce de la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220262 E, 8195770 N).

Figura 47. Comisaria Ciudad de Dios (Coordenadas UTM WGS84 220337 E, 8195425 N).

Figura 48. I.E. Bambys (Coordenadas UTM WGS84 220342 E, 8195468 N).

Figura 49. Áreas recreativas en la quebrada Escalerilla 4 (Coordenadas UTM WGS84 220009 E, 8195499 N).

Figura 50. Piedades de ciudad Dios (Coordenadas UTM WGS84 220105 E, 8195686 N).

7.3. Simulación en la quebrada Andenes

En la quebrada Andenes (Fig. 51) presenta 1 punto crítico (infraestructura): 1 cruce afirmado (Fig. 52) con un nivel de peligrosidad alto para precipitaciones de 25 mm.

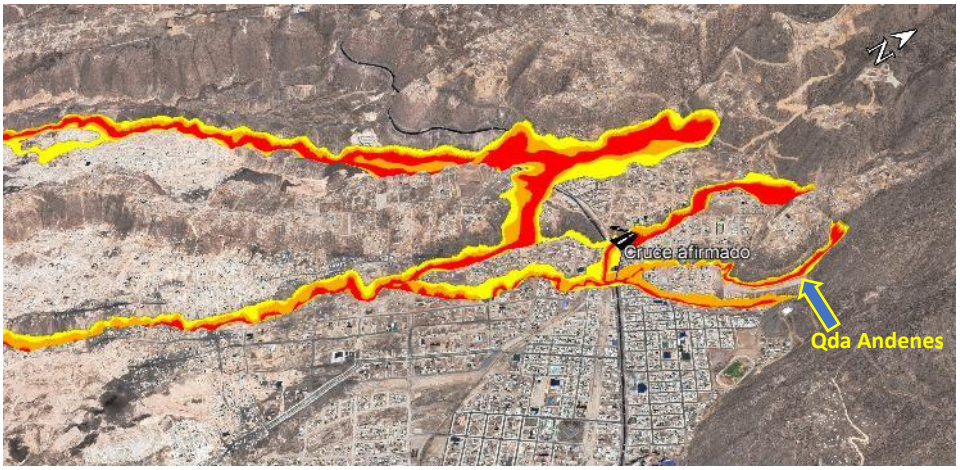


Figura 51. Simulación de lahares en la quebrada Andenes.

Figura 52. Bifurcación de la quebrada Andenes en el cruce afirmado (Coordenadas UTM WGS84 219070 E, 8196550 N).

7.4. Simulación en la quebrada Andenes 1

La quebrada Andenes 1 (Fig. 53) presenta 1 punto crítico: 1 cruce afirmado (Fig. 54), con nivel de peligrosidad alto para precipitaciones de 25 mm.

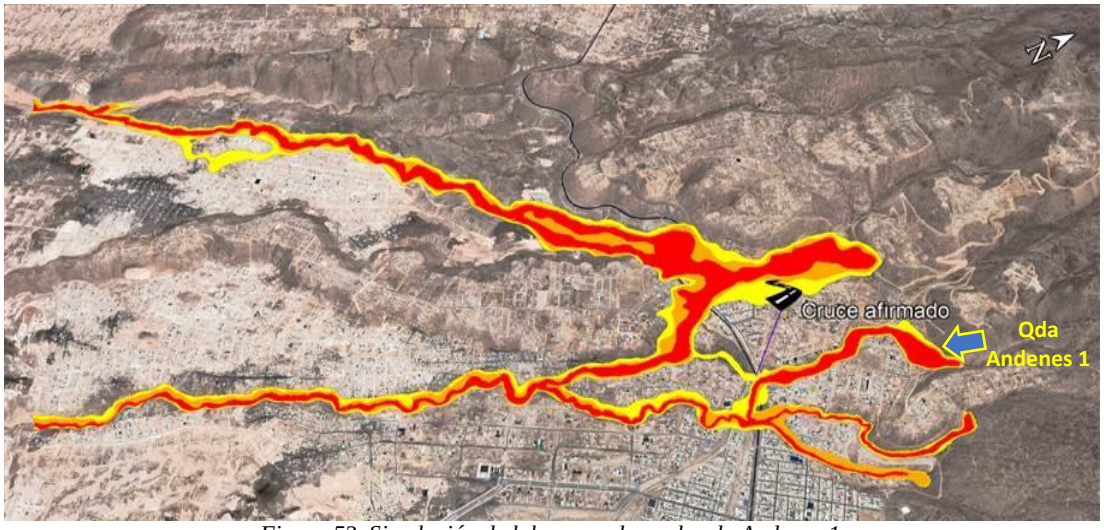


Figura 53. Simulación de lahares en la quebrada Andenes 1.

Figura 54. Cruce afirmado en la quebrada Andenes 1 (Coordenadas UTM WGS84 218868 E, 8196649 N).

7.5. Simulación en la quebrada Apacheta 1

Se ubican 2 puntos críticos en la quebrada Apacheta 1 (Fig. 55): 1 cruce ferroviario (Fig. 56) y 1 asociación de vivienda con un nivel de peligrosidad alto, para precipitaciones de 25 mm.

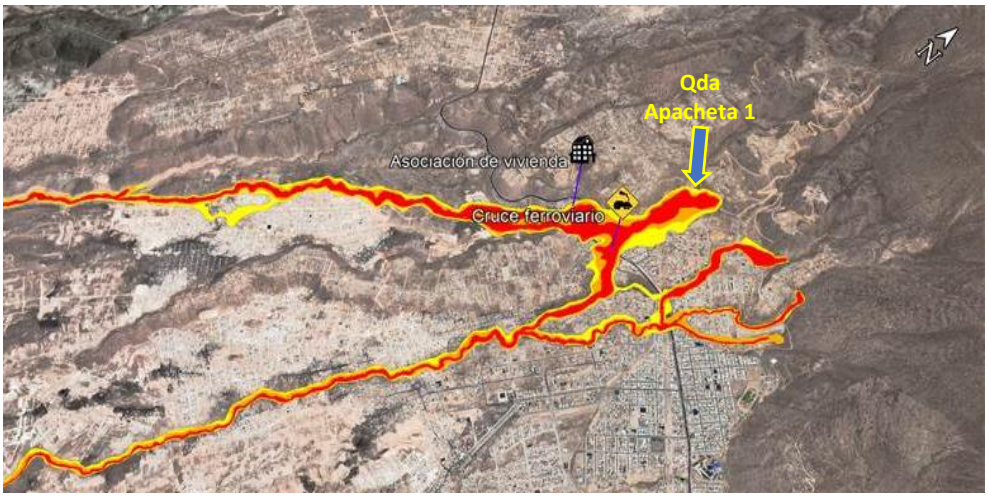


Figura 55. Simulación de lahares en la quebrada Apacheta 1

Figura 56. Cruce ferroviario en la quebrada Apacheta 1 (Coordenadas UTM WGS84 218392 E, 8196605 N).

7.6. Simulación en la quebrada Honda

En la quebrada Honda (Fig. 57) ya no atraviesa predios urbanos. Sin embargo, en la parte media se encuentra un relleno sanitario o vertedero (Fig. 58) de basura que se vería afectado con precipitaciones de 125 mm generando un nivel de peligrosidad bajo.

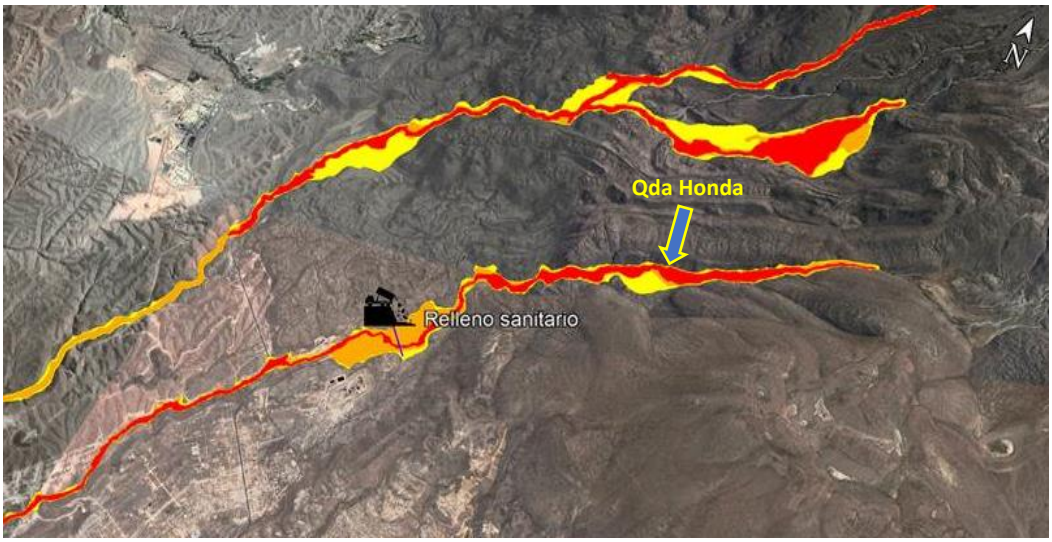


Figura 57. Relleno sanitario en la quebrada Honda, afectada por un peligro bajo.

Figura 58. Relleno sanitario en la quebrada Honda del distrito de Yura (Coordenadas UTM WGS84 217173 E, 8199255 N).

8. CONCLUSIONES

1. En el distrito de Yura (parte urbana), se encuentran depósitos como la Ignimbrita Aeropuerto Arequipa, depósitos de corriente de densidad piroclástica de bloques y ceniza asociado a los domos-colada Potrero, asimismo presentan quebradas que descienden desde las partes altas del Complejo Volcánico Chachani con lahares del pleistoceno consolidados y del holoceno poco consolidados a moderada consolidación.
2. Se identificaron 24 quebradas por donde se pueden generar flujos de detritos (lahares) y se hizo el análisis de puntos críticos en 6 quebradas que atraviesan la parte urbana Escalerilla 3, Escalerilla 4, Andenes, Andenes 1, Apacheta 1 y Honda.
3. La quebrada Escalerilla 3 presenta 5 puntos críticos con niveles de **peligrosidad alto, moderado y bajo**. La quebrada Escalerilla 4 presenta 7 puntos críticos con niveles de **peligrosidad alto, moderado y bajo.** La quebrada Andenes presenta 1 punto crítico con niveles de **peligrosidad alto**. La quebrada Andenes 1 presenta 1 punto crítico con niveles de **peligrosidad alto**. La quebrada Apacheta 1 presenta 2 puntos críticos con niveles de **peligrosidad alto**. La quebrada Honda, presenta 1 punto crítico con niveles de **peligrosidad bajo**.

9. RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de alerta temprano (SAT) para los lahares sobre todo en las quebradas que atraviesan áreas urbanas del distrito de Yura.

2. Se deben ampliar y no reducir los cauces de las quebradas, se debe respetar su cauce natural. Realizar la limpieza periódica.

3. Se sugiere construir muros de o disipadores de energía, para ello se debe realizar un estudio completo en tramos de quebradas identificados como puntos críticos.

4. La autoridad local pertinente debe emitir ordenanzas que restrinjan la construcción de viviendas en zonas de alto peligro por lahares, cauces de las quebradas, en fajas marginales o límite natural de un río o quebrada.

5. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de lahares.

6. Utilizar los resultados de simulación elaborado en el presente informe, para elaborar planes de contingencia en las zonas afectadas por lahares.

Nelida Victoria Manrique Llerena
Jefa del proyecto GA-17F

Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, R. (2015). Long-lived magmatic systems : The post-caldera Chachani Volcanic Complex Case study (Perú). UNIVERSITE BLAISE PASCAL – CLERMONT FERRAND II.

Benavente et al. (2017). Neotectónica, Evolución del Relieve y Peligro Sísmico en la Región Arequipa. Lima: INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 64.

Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la Región de Arequipa. Bol. Soc. Geol. del Perú, Tomo XXXVI - Lima, 58 p.

Córdoba, G., G, V., F, S. M., G, V. J., D, B., & G., S. (2015). Secondary lahar hazard assessment for Villa la Angostura, Argentina, using Two-Phase-Titan modelling code during 2011 Cordón Caulle eruption. European Geosciences union, 9p.

Fuentes, D;. (2015). Lahares secundarios: análisis de parámetros físicos en depósitos piroplásticos y su relación con los mecanismos generadores. Tesis Pregrado: Universidad de Chile.

Guevara, C. (1969). Geología del cudrángulo de Characato. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 23, 54 p.

INEI. (2017). Instituto Nacional de Estadística e Informática, Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Lima.

INEI. (2017). Instituto Nacional de Estadística e Informática, Resultados definitivos sobre la Población Económicamente Activa del departamento de Arequipa de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Lima.

INGEMMET. (Extraído el 03 de febrero del 2022). Observatorio vulcanológico del Ingemmet (OVI). Obtenido de Tipos de erupciones: , desde http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=102#:~:text=Las%20erupciones%20volc%C3%A1nicas%20son%20el,roca%20fundida%2C%20gases%20y%20cristales.&text=Si%20los%20gases%20del%20magma,a%20la%20superficie%20sin%20explotar.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo geológico. (2022). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos (lahares) en el centro poblado Yalaque y en la quebrada El Volcán. Distritos La Capilla y Quinistaquillas, Provincia de General Sánchez Cerro, Departamento Moquegua. 54p: ngemmet, Informe Técnico N° A7212.

Iverson, R., Schilling, S., & Vallance, J. (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin, v. 110, N°8, 12p.

Kelfoun, K., & Druit, t. T. (2005). Numerical modelling of the emplacement of the 7500 BP Socompa rock avalanche, Chile. J. Geophys. Res., B12202, doi : 10.1029/2005JB003758, 13p.

Lugo, J. (1988). Elementos de geomorfología aplicada: Métodos cartográficos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Mariño, J., Rivera, M., Thouret, J., & Macedo, L. (2016). Geología y mapa de peligros del volcán Misti. INGEMMET. Lima: Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

Paquereau Lebti et al. (2006). Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, Southern Peru: Stratigraphical and petrological correlations. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 24 p.

Sánchez, R., Mayorga, R., & Urrego, L. &. (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión, 1, Bucaramanga, 8p.

Siebert, L., Cottrell, E., E, V., & AndrewsA. (2015). The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition). U.S. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC, USA.

Tilling, R. (1993). Apuntes para un curso breve sobre los peligros volcánicos, Santa Fé, Nuevo México. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos, 2-3 julio 1989. [s.l.], 125p.

Vallance, J. W. (2001). Lahars. En H. Sigurdsson, B. Houghton, S. McNutt, H. Rymer, & J. Stix, Encyclopedia of Volcanoes. Londres: Academic Press.

Vallance, J., & Iverson, R. (2015). Lahars and their deposits. Encyclopedia of volcanoes, 26p.

Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa - [Boletín A 24]. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 24, 79 p.

Vásconez, R., Hall, M., & Mothes, P. (2009). Devastadores flujos de lodo disparados en el volcán Carihuairazo por el terremoto del 20 de Junio de 1698. Revista Politécnica. Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 20p.

Vera, P., Ortega, P., Casa, E., Santamaría, J., & Hidalgo, X. (2019). Modelación Numérica y Mapas de Afectación por Flujo de Lahares Primarios en el Drenaje Sur del Volcán Cotopaxi. Revista Politécnica, 11p.

ANEXO: MAPAS

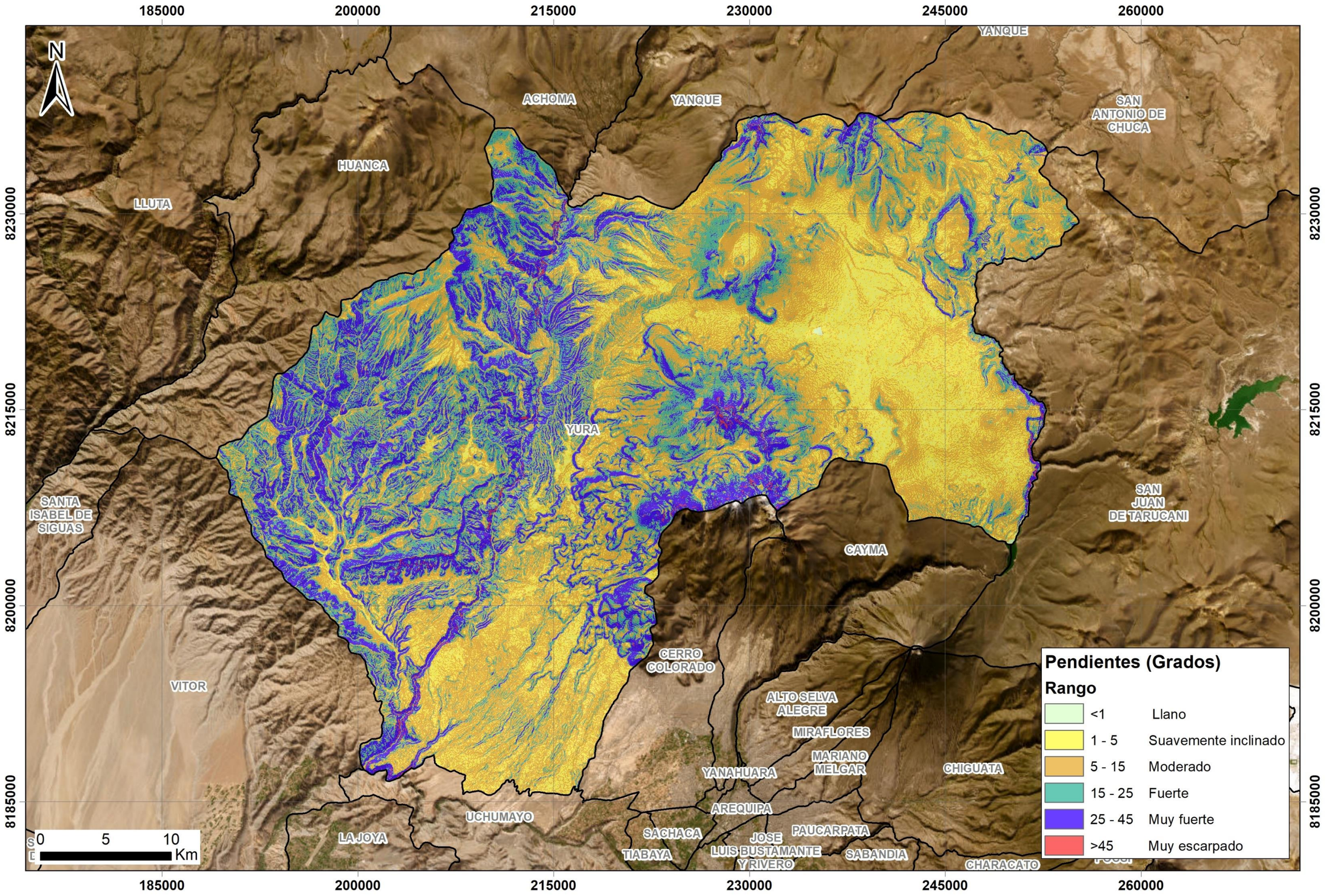
1: Mapa de pendientes del terreno del distrito de Yura a partir de un modelo digital de elevaciones de 3m de resolución. Fuente: Elaboración Propia.

2: Mapa geomorfológico del distrito de La Capilla a partir de la clasificación de unidades geomorfológicas de la especificación técnica DGAR-ET-002 V-2 elaborada por el INGEMMET a escala 1:25,000. Fuente: Elaboración Propia.

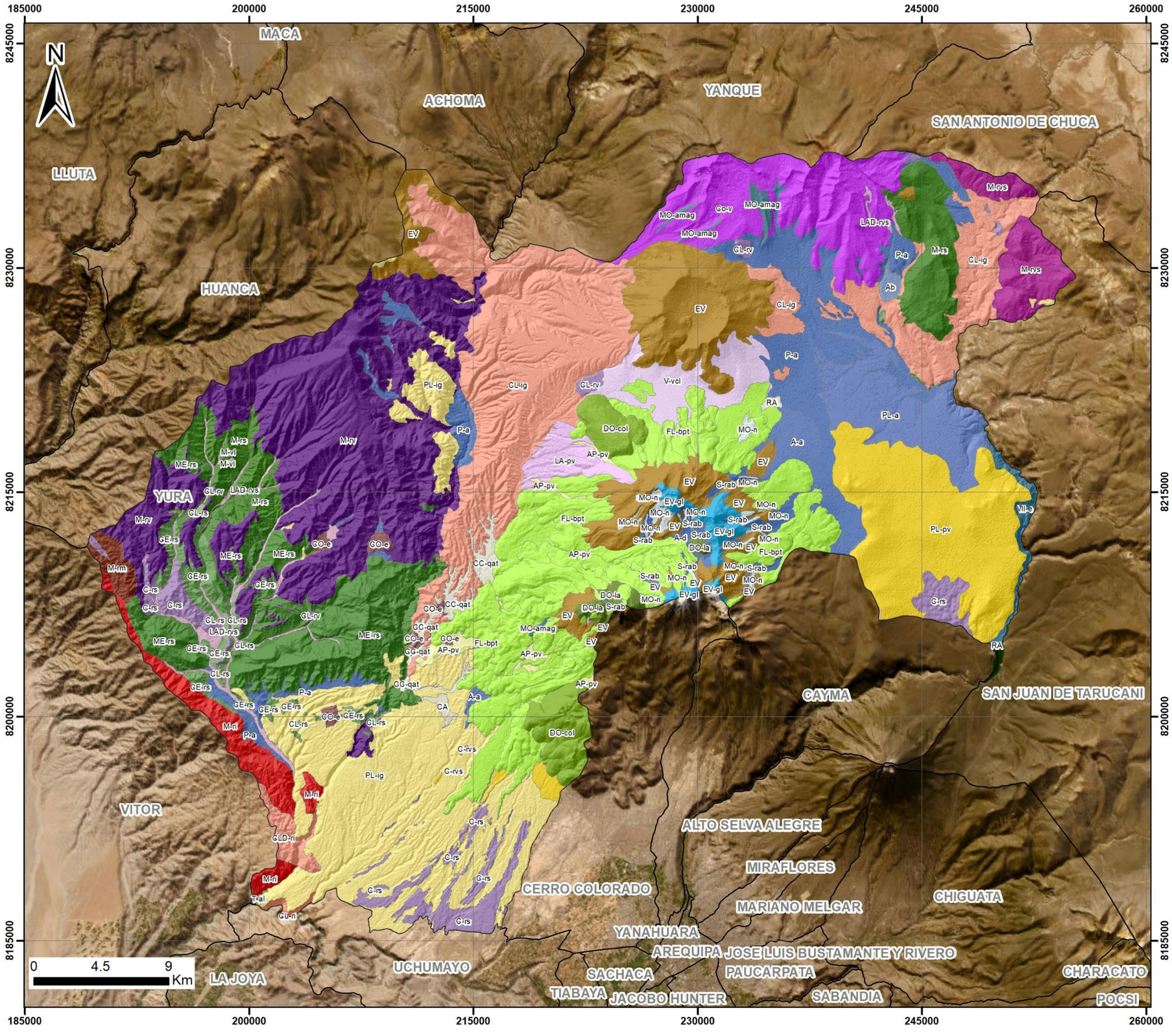
3: Mapa geológico del distrito de Yura. Fuente: Elaboración Propia.

4: Mapa de simulación de flujo de detritos (lahares), en el distrito de Yura. Fuente: Elaboración Propia.

MAPA DE PENDIENTES DEL DISTRITO DE YURA



MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL DISTRITO DE YURA



LEYENDA

Geoforma denudacional

- M-ri Montaña en roca intrusiva
- M-rv Montaña en roca volcánica
- M-rvs Montaña en roca volcanosedimentaria
- M-rs Montaña en roca sedimentaria
- M-rm Montaña en roca metamórfica
- ME-rs Montaña estructural en roca sedimentaria
- C-rvs Colina en roca volcanosedimentaria
- C-rs Colina en roca sedimentaria
- CE-rs Colina estructural en roca sedimentaria
- CL-ri Colina y lomada en roca intrusiva
- CL-rv Colina y lomada en roca volcánica
- CL-rs Colina y lomada en roca sedimentaria
- CLD-ri Colina y lomada disectada en roca intrusiva
- CLD-rvs Colina y lomada disectada en roca volcanosedimentaria
- V-vcl Vertiente o piedemonte volcanoclástica
- ME-v Meseta volcánica

Geoforma volcánica

- EV Estratovolcán
- EV-gl Estratovolcán glaciado
- CO-e Cono de escoria
- AP-pv Altiplanicie piroclástica y volcanoclástica
- PL-pv Planicie piroclástica y volcanoclástica
- PL-ig Planicie ignimbrítica
- CL-ig Colina o lomada de ignimbrita
- LA-pv Ladera piroclástica y volcanoclástica
- FL-bpt Flujo de lava en bloques del Pleistoceno tardío
- DO-la Domo de lava
- DO-col Domo colada
- Co-v Complejo volcánico

Geoforma fluvial

- S-rab Superficie o roca aborregada
- T-al Terraza aluvial
- A-d Abanico de deshielo
- P-a Piedemonte aluvial
- PL-a Planicie aluvial
- A-a Abanico aluvial

Geoforma glacial

- MO-n Morrena neoglacial
- MO-amag Morrena anterior al máximo avance glaciar

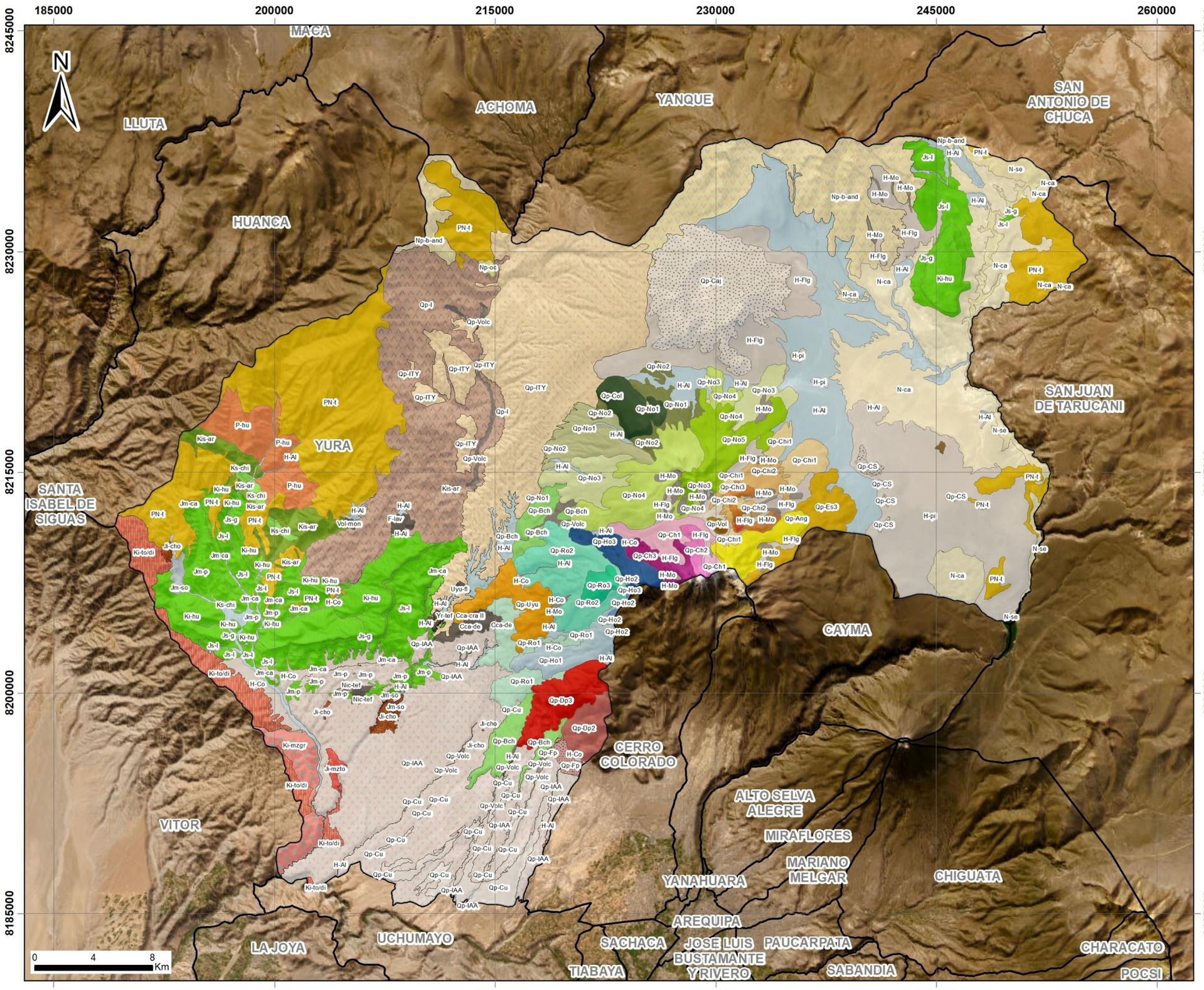
Geoforma deposicional o agradacional

- Ab Abanico de piedemonte
- VII-e Valle encañonado o valle-cañón

Geoforma antrópica

- CA Cantera
- CC-qat Cauce de quebrada antropizada
- RA Reservorio de agua

MAPA GEOLÓGICO DEL DISTRITO DE YURA



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

FANEROZOICO

- MESOZOICO
  - JURÁSICO
  - CRETÁCICO
- CENOZOICO
  - PALEOGENO
  - NEOGENO
  - CUATERNARIO
    - PLEISTOCENO
    - HOLOCENO

H-Al	Depósito aluvial
H-Co	Depósito coluvial
H-Flg	Depósito fluvioglacial
H-Mo	Depósitos morrénicos
H-pi	Depósitos piroclásticos
Qp-Volc	Depósitos volcanoclásticos
Qp-Vol	Domo El Volcancillo
Qp-Cu	Fm. Cuico
Qp-mon	Volcanes monogenéticos
Qp-Ch3	
Qp-Ch2	Estratovolcán Chachani
Qp-Ch1	
Qp-Uyu	Flujos de lava Uyupampa
Qp-Dp3	
Qp-Dp2	Domos Potreros
Qp-Fp	
Qp-Ho3	
Qp-Ho2	Estratovolcán La Horqueta
Qp-Ho1	
Qp-Ro3	
Qp-Ro2	Estratovolcán El Rodado
Qp-Ro1	
Qp-Col	Domo Colorado
Qp-Ang	Estratovolcán El Ángel
Qp-Es3	Estratovolcán Estribo
Qp-No5	
Qp-No4	
Qp-No3	Estratovolcán Nocarane
Qp-No2	
Qp-No1	
Qp-Chi4	Estratovolcán Chingana
Qp-Chi3	
Qp-Caj	Depósitos Cajón Puquio
Qp-Chi2	
Qp-Chi1	
Qp-Bch	Flujos de lava Chachani basal
Qp-ITY	Tufo Yura
Qp-IAA	Ignimbrita Aeropuerto de Arequipa
Qp-I	Ignimbrita
Np-b-and	Grupo barroso
Np-oc	Fm. Ocoruro
N-ca	Fm. Capillune
N-se	Fm. Sencca
PN-t	Grupo Tacaza
P-hu	Fm. Huanca
Ks-chi	Fm. Chilcane
Kis-ar	Fm. Arcurquina
Ki-mu	Fm. Murco
Ki-hu	Fm. Huallhuani
Js-g	Fm. Gramadal
Js-l	Fm. Labra
Jm-ca	Fm. Cachíos
Jm-p	Fm. Puente
Jm-so	Fm. Socosani
Ji-cho	Fm. Chocolate

Ks-mzgr	Batolito de la súper unidad Linga Ica
Ki-to/di	Batolito de la súper unidad Ilo
Ji-mzto	Batolito de la súper unidad Punta Coles

MAPA DE LAHARES DEL DISTRITO DE YURA

185000 200000 215000 230000 245000 260000

8230000 8215000 8200000 8185000

N

LLUTA
HUANCA
ACHOMA
YANQUE
SAN ANTONIO DE CHUCA
SAN JUAN DE TARUCANI
YURA
SANTA ISABEL DE SIGUAS
VITOR
CERRO COLORADO
CAYMA
ALTO SELVA ALEGRE
MIRAFLORES
MARIANO MELGAR
YANAHUARA
AREQUIPA
SACHACA
PAUCARPATA
JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO
SABANDIA
JACOBO HUNTER
SOCABAYA
TIABAYA
UCHUMAYO
LA JOYA

FERROCARRIL DEL SUR

Qda La Paccha
Qda SN7
Qda Huancorasi
Qda Coral
Qda Chingana
Qda SN6
Qda SN4
Qda SN5
Qda Huesos
Qda Añazhuarcuna
Qda SN8
Qda Viscachani
Qda Concevida
Qda Chico
Qda Cancharo
Qda Taccra
Qda Huamayloca
Qda Sencunca
Qda SN1
Qda Pisac
Qda Malagente
Qda El Azufral
Qda Azufral Sector Lari Lari y Tuscy
Qda Pastoruiz
Qda Inmominada
Qda Octobrada
Qda El Cutico
Qda Apachcla 1
Qda Anderes 1
Qda Anderes
Qda Escalerilla 4
Qda José Bustamante y Rivero
Qda Estanquito
Qda San Pedro
Qda Chullo
Qda Apipa
Qda Añashuayco
Qda Río Seco
Qda Escalerilla
Qda Honda
Río Yura
Río Chili

Domo Volcancillo
Campo monogenético de Yura
Planta de Cemento Yura
Relleno Sanitario
Canteras del sillar
Capilla Chapi Chico
Mirador de los volcanes Misti y Chachani
Represa Aguada Blanca

Nivel de peligrosidad

- Alto
- Moderado
- Bajo

0 4 8 Km

Simbología

- Central hidroelétrica
- Aeropuerto
- Curvas de nivel
- Límite distrital
- Red vial nacional
- Red vial departamental
- Línea ferrea
- Geositios
- Drenaje
- Infraestructura urbana
- Predio rural
- Laguna
- Industria
- Área natural protegida
- Área verde
- Plazas principales