

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7152

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE TIERRA E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL CENTRO POBLADO MENOR DE ARCATA

Región Arequipa
Provincia Condesuyos
Distrito Cayarani



MAYO
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE TIERRA E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL CENTRO POBLADO MENOR DE ARCATA

Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos, Región Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por flujo de tierra e inundación fluvial en el centro poblado menor de Arcata. Distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, región Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7152, 31p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.2.1. Ubicación	3
1.2.2. Accesibilidad	4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
2.1. Unidades litoestratigráficas	4
2.1.1 Formación Alpacabamba (Nm-al)	6
2.1.2 Formación Barroso (NQ-ba/an)	6
2.1.3 Depósitos morrénicos (Qpl-mo) y fluvioglaciares (Qpl-fg)	7
2.1.4 Depósitos aluviales (Qh-al)	7
2.1.5 Depósitos proluviales (Qh-pr)	8
2.1.6 Depósitos coluviales (Qh-col)	8
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
3.1. Pendientes del terreno	9
3.2. Unidades geomorfológicas	11
3.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	12
3.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	12
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	14
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	14
4.1.1 Flujo de tierra	16
4.1.2 Zona de derrumbes	19
4.1.3 Caída de rocas	20
4.1.4 Avalancha de detritos	20
4.1.5 Erosión de laderas en cárcavas	20
4.1.6 Deslizamiento Arcata	21
4.1.7 Deslizamiento Huisca Huisca	23
4.2. Peligros por inundación fluvial	24
4.3. Factores condicionantes	25
4.4. Factores desencadenantes	25
5. CONCLUSIONES	26
6. RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA	28

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujo de tierra e inundación fluvial en el centro poblado menor de Arcata, distrito de Cayarani, provincial de Condesuyos, región Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el centro poblado menor de Arcata, afloran rocas de la Formación Alfabamba (Nm-al), conformadas por un nivel inferior de depósitos de corrientes de densidades piroclásticas, de coloración gris blanquecina, con fragmentos líticos erráticos de color gris oscuro, nivel moderadamente meteorizadas y medianamente fracturada. El nivel intermedio está conformado por una secuencia pseudo estratificada de ceniza volcánica, con facies retrabajadas de corrientes de densidades piroclásticas y lapilli pómez retrabajada, nivel altamente meteorizado y medianamente fracturado. Al tope, se aprecia un nivel de piroclastos completamente meteorizados. Formación Barroso (NQ-ba/an), conformadas por lavas andesíticas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Además, afloran depósitos morrénicos (Qpl-mo), fluvio-glaciares (Qpl-fg), los depósitos aluviales (Qpl-al) están conformados por gravas, bloques, arenas y limos, que son de fácil erosión; los depósitos coluviales (Qh-col) están conformadas por clastos polilitológicos subangulosos de origen gravitacional, y depósitos proluviales (Qh-pr), constituidos por gravas, arenas y limos, los depósitos cuaternarios se encuentran inconsolidados.

Las subunidades geomorfológicas corresponden a: vertiente o piedemonte aluvial (V-at), abanico de piedemonte (Ab), vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd), ladera en flujo piroclástico (L-fp), laguna y cuerpo de agua (Lg/ca), vertiente glacio-fluvial (V-gfl), coladas o campo de lavas basalto andesítica (Ca-la) y morrenas (Mo). Las subunidades con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa corresponden a vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd) y ladera en flujo piroclástico (L-fp).

Los peligros geológicos identificados corresponden a movimientos en masa de tipo: flujo de tierras no canalizado, derrumbes, caída de rocas, avalancha de detritos y deslizamientos; asimismo, se han observado procesos de erosión de ladera, principalmente cárcavas. Específicamente el área poblada de centro poblado menor de Arcata, se encuentra asentada sobre depósito de flujo de tierra antiguo de recurrencia excepcional y en sectores susceptible de ser afectada por la inundación fluvial.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: rocas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas de los niveles superiores de la Formación Alfabamba, rocas la Formación Barroso meteorizadas y moderadamente fracturadas. Además, los movimientos en masa antiguos en la zona han generado depósitos inconsolidados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados. La pendiente de los terrenos varía desde llano a inclinado suavemente (1°-5°) las cuales se encuentran al pie de las laderas; en la parte media de la ladera se presenta un cambio de pendiente a muy fuerte (25°-45°) y pendientes (> 45°) acantilados ubicados en la parte alta del centro poblado menor de Arcata.

El área ocupada por el centro poblado menor de Arcata se considera como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de tierra, que puede activarse en la temporada de lluvias intensas (octubre a marzo) e inundación fluvial; Además, en la zona se pueden generar nuevas activaciones de deslizamientos y caída de rocas.

Finalmente, se recomienda reubicar las viviendas del Centro Poblado Menor de Arcata, a un lugar en el que no se observe perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del centro poblado menor de Arcata- Chucñihuaqui. Según Oficio N°006-2020-MCPA-CH; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el centro poblado menor de Arcata.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco Calsina para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos que afectan el Centro Poblado Menor Arcata. Los trabajos de campo se realizaron los días 07 y 08 de abril del 2021.

La evaluación técnica, se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad de centro poblado menor de Arcata y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el centro poblado menor de Arcata y áreas aledañas; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Caldas (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 46, 62 p. Describen a la Formación Alfabamba, en el sector norte del cuadrángulo de Orcopampa, su mejor exposición está en los alrededores de la estancia Challahuire (5 km. al Oeste de **Arcata**), desde donde se prolonga al sureste, a lo largo de una franja con N 70 O aproximadamente, pasando por las inmediaciones de las lagunas Corococha y Machucocha

Días & Lajo (2001). Actualización de Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa (Hoja 31-r). INGEMMET. En el mapa se evidencia la geología en los alrededores del centro poblado menor de **Arcata**, cuya descripción fue publicada años más tarde, en la publicación de Salas, et al. (2003).

Salas et al. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chulca (30-q), Cayarani (30-r), Cotahuasi (31-q) y Orcopampa (31-r); identificaron circos glaciares la parte superior de las **lagunas de Arcata** y Huisca Huisca.

Zavala (2017). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en la subcuenca Cotahuasi. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Constató la presencia de pasivos ambientales generados por la minería pasada en tres sectores principales de la cuenca: Orcopampa, valle del Colca (Madrigal) y sector de Condorama. Respecto al impacto de la actividad minera actual, sobresalen las zonas de Orcopampa (Manto, Chipmo y Poracota), minas Shilla-Paula, **mina Arcata** y mina Ares.

1.2.1. Ubicación

El área evaluada correspondiente al centro poblado menor Arcata, está ubicada en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, Región Arequipa (figura 1), dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del sector Arcata

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	791911.73	8336211.14	15° 1'59.70"S	72°17'6.61"O
2	793633.60	8336182.14	15° 1'59.18"S	72°16'9.15"O
3	793613.35	8334399.66	15° 2'57.60"S	72°16'9.04"O
4	791894.03	8334420.93	15° 2'57.63"S	72°17'6.57"O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Arcata	792814.16	8335337.58	15° 2'27.43"S	72°16'36.16"O

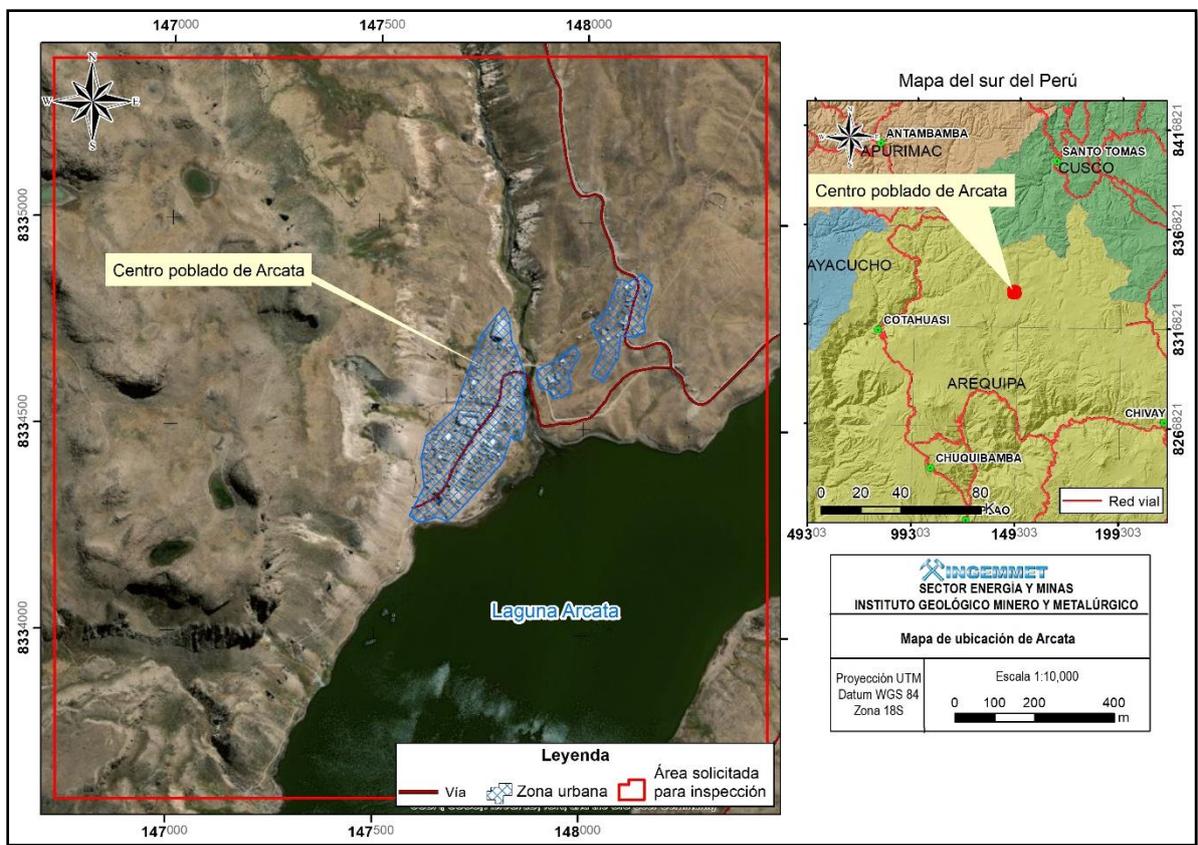


Figura 1. Mapa de ubicación del centro poblado menor de Arcata

1.2.2. Accesibilidad

El acceso al centro poblado menor de Arcata, se realizó en vehículo del Ingemmet. Desde Arequipa, se siguió la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Aplao	Asfaltada	177	3 h 7 min
Aplao – Viraco	Asfaltada	77.3	1 h 55 min
Viraco - Orcopampa	Trocha carrozable	98	1 h 51 min
Orcopampa - Arcata	Trocha carrozable	43	1 h 20 min

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elabora teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de Orcopampa 31-r_VI a escala 1:100000, Lajo & Días (2001)

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en inmediaciones del Centro Poblado Menor de Arcata corresponden a los afloramientos de las formaciones Alfabamba (Nm-al), Barroso (NQ-ba/an) y depósitos cuaternarios.

Entre los depósitos cuaternarios se tiene a los morrénicos (Qpl-mo), fluvio-glaciares (Qpl-fg), aluviales (Qh-al), proluviales (Qh-pr) y coluviales (Qh-col) modificado de Salas et al. (2003). (figura 2).

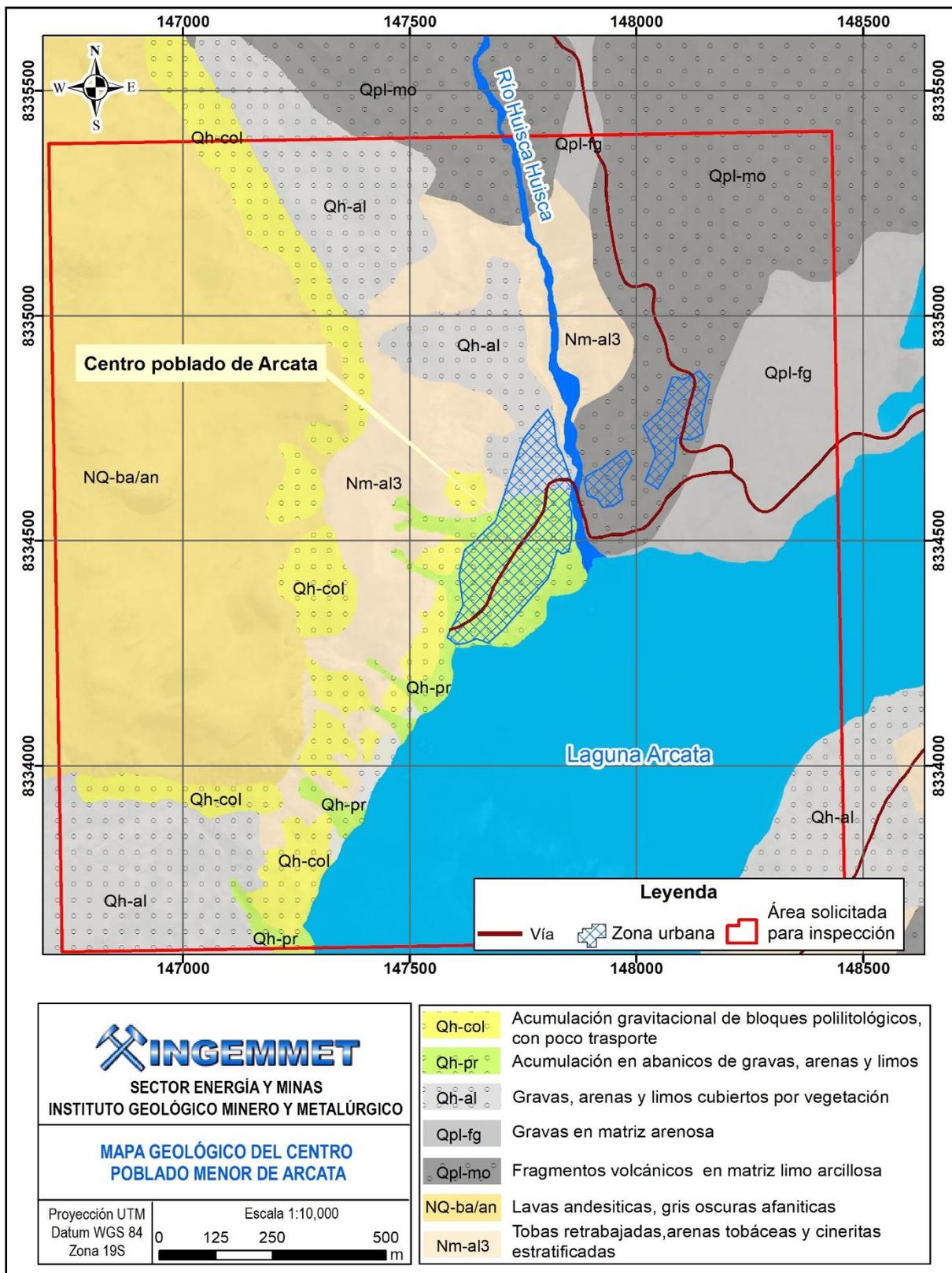


Figura 2. Mapa geológico del sector Arcata, modificado del “Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa” 31-r a escala 1:100000, Lajo & Días (2001)

2.1.1 Formación Alpacabamba (Nm-al)

Nombrado por Olchanski, (1994). Es una unidad que se encuentra rellenando un paleorelieve aparentemente, muy accidentado y labrado, Salas et al. (2003). La Formación Alpacabamba aflora en inmediaciones del poblado de Arcata, a 500 m al Norte de la zona urbana, tiene una potencia de 90 m en la base está conformado por un nivel importante de corriente de densidad piroclástica de 70 m de potencia (figura 3), el cual presenta una coloración blanquecina con fragmentos líticos erráticos de hasta 3 cm de color gris oscuros, las pómez son centimétricos, con pocas vesículas. Este nivel se encuentra moderadamente meteorizadas y medianamente fracturada.

Por encima se observa la secuencia pseudo estratificada de niveles de ceniza volcánica, con facies retrabajadas de corrientes de densidades piroclásticas y lapilli pómez retrabajada, el cual posee 20 m de espesor. Salas et al. (2003) llama a estas secuencias cineritas. Este nivel se encuentra altamente meteorizada y medianamente fracturada.

Hacia el tope de la Formación Alpacabamba se aprecia un nivel de 2 a 4 m completamente meteorizado e hidrotermalizado, aparentemente ocasionado por el contacto con las lavas de la Formación suprayacente.



Figura 3. Afloramiento de la Formación Alpacabamba. (coordenadas UTM E: 792685, N: 8335369).

2.1.2 Formación Barroso (NQ-ba/an)

Nombrado aso por Wilson (1962). Son afloramientos aislados, se encuentran por la mitad Norte del cuadrángulo de Orcopampa, Salas et al. (2003). La Formación Barroso aflora en inmediaciones de Arcata, en la parte alta del reservorio de toma de agua del Centro

Poblado Menor de Arcara, tiene una potencia de 100 m en la zona se aprecia formando las crestas de los cerros más elevados.

En este sector, descansa directamente sobre la Formación Alpacabamba, en el contacto se aprecia un nivel totalmente alterado e hidrotermalizado.

Se trata de lavas andesíticas porfíricas con cristales de plagioclasa que alcanzan entre 2 a 3 mm de tamaño, los anfíboles se encuentran alterados. Las lavas se presentan formando disyunción columnar, el cual disminuye desde la base al tope, en algunos sectores se pueden observar disyunciones columnares radiales (figura 4). Las lavas se encuentran ligeramente meteorizadas y medianamente fracturadas.



Figura 4. Disyunción columnar radial de la Formación Barroso. (coordenadas UTM E: 792372, N: 8334789).

2.1.3 Depósitos morrénicos (Qpl-mo) y fluvioglaciares (Qpl-fg)

Están constituidos por materiales resultantes de la destrucción mecánica de las rocas por el glaciar en movimiento y por materiales sueltos provenientes de las laderas de montañosas, Salas, et al (2003).

Este tipo de depósitos están ubicado al noreste de la zona urbana del centro poblado menor de Arcara (figura 2). Está conformado por bloques polilitológicos, gravas, arenas y limos; el depósito se encuentra inconsolidado.

2.1.4 Depósitos aluviales (Qh-al)

Se considera dentro de este grupo a los materiales que conforman, terrazas de ríos y quebradas, así como conos aluviales, que en muchos de los casos es difícil de representar gráficamente en los mapas por efectos de escala. Los depósitos de terrazas pueden presentar cierto grado de consolidación y están sujetos a procesos de erosión fluvial.

Los depósitos aluviales afloran en gran parte del centro poblado menor de Arcata (figura 2), están formando una cobertura de pocos metros, está conformado por bloques, gravas, arenas y limos, los bloques presentan formas redondeadas a subredondeadas. Las formas más o

menos redondeadas de los fragmentos de roca dependen de las distancias que han sido transportados.

Los depósitos aluviales se presentan inconsolidado. La mayoría de los movimientos en masa en el centro poblado menor de Arcata se generan en depósitos aluviales.

2.1.5 Depósitos proluviales (Qh-pr)

Son depósitos provenientes de corrientes temporales de agua y lluvia, ocasionando acumulación de fragmentos rocosos y lodos a manera de conos de deyección en su desembocadura. Constituidos por gravas, arenas y limos; estos depósitos se ubican próximos al reservorio de agua y la zona urbana del centro poblado menor de Arcata (figura 5). El depósito se encuentra inconsolidado.



Figura 5. Depósitos Proluviales. (coordenadas UTM E: 792817, N: 8335341).

2.1.6 Depósitos coluviales (Qh-col)

Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad. Proyecto Multinacional Andino; Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007)

Los depósitos coluviales se acumulan en vertientes o márgenes de los valles, como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos (figura 2). En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (huaicos), y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones detonadas por precipitaciones pluviales o al realizar modificaciones en sus taludes naturales.

Los depósitos coluviales se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores (arenas y limos) disminuyen gradualmente hacia el ápice. Son sueltos poco cohesivos, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en el centro poblado menor de Arcata varía desde llanos a inclinados suavemente (1° - 5°), en zona media del acantilado se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$), en la parte alta es muy fuerte (25° - 45°), (figuras 6). Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 12.5 m, tomado del portal EARTH-DATA - Alaska Satellite Facility Distributed (ASF DAAC) de la NASA (figura 7).

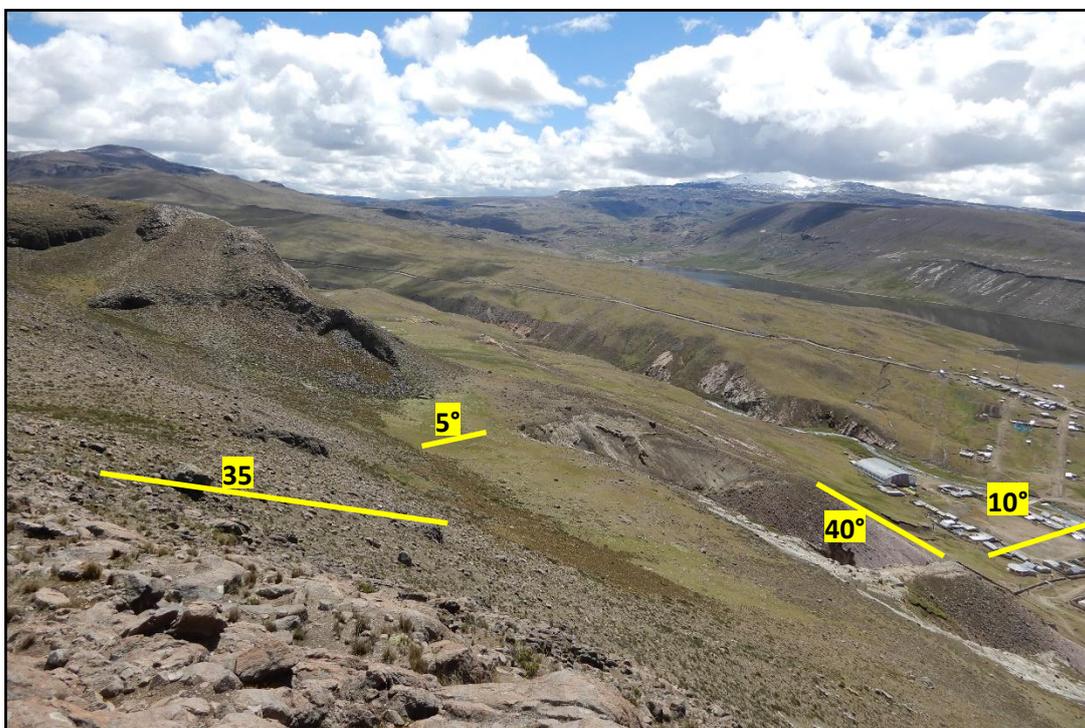


Figura 6. El texto con color amarillo muestra las distintas pendientes en Arcata, (coordenadas UTM E: 792364, N: 8335193)

Cuadro 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno ($^{\circ}$)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escarpado
>45	Muy escarpado

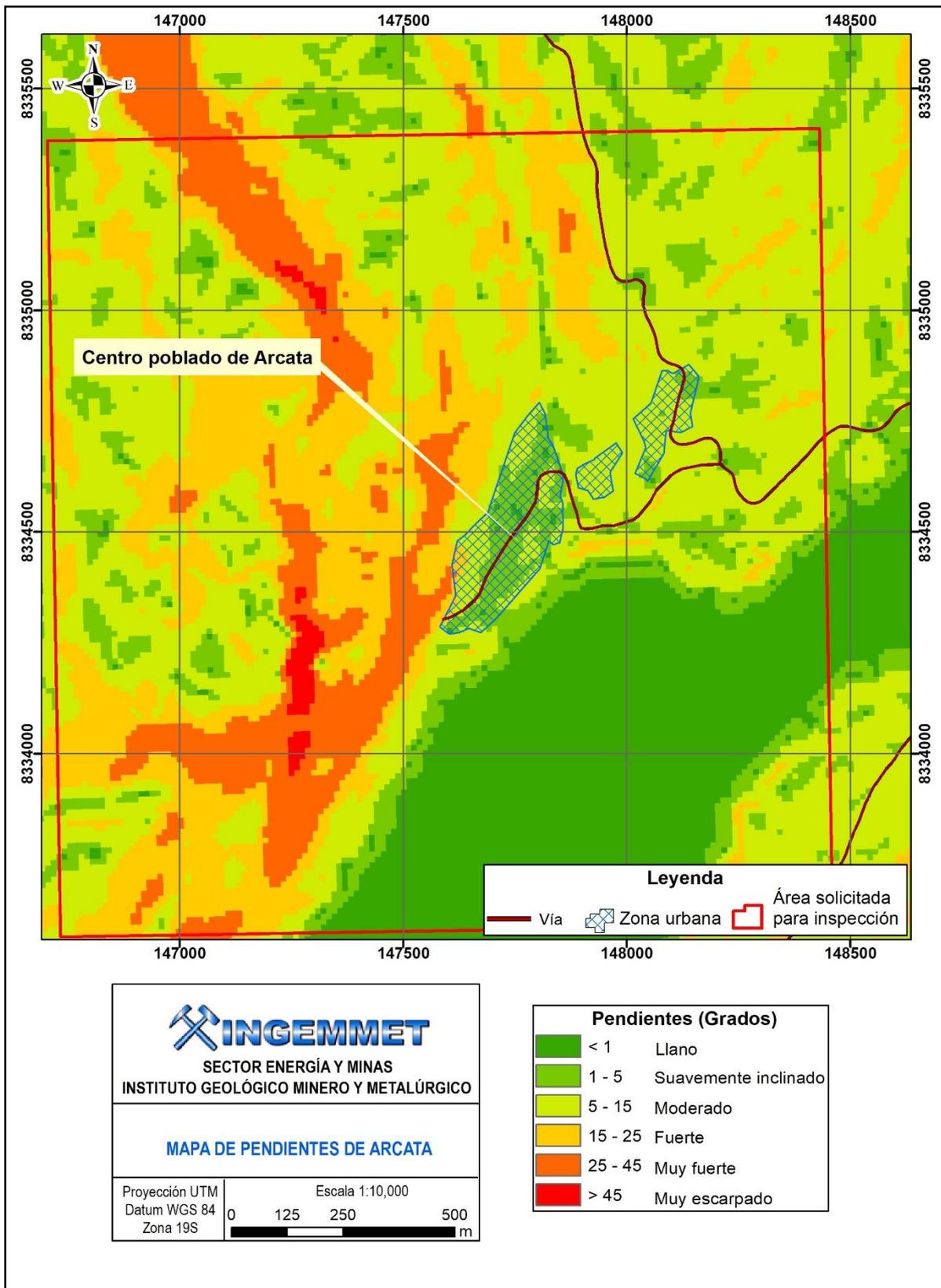


Figura 7. Mapa de pendientes de Arcata.

3.2. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geformas de carácter agradacionales o depositacionales

La evolución del relieve en Arcata, se presenta en el mapa geomorfológico (figura 8).

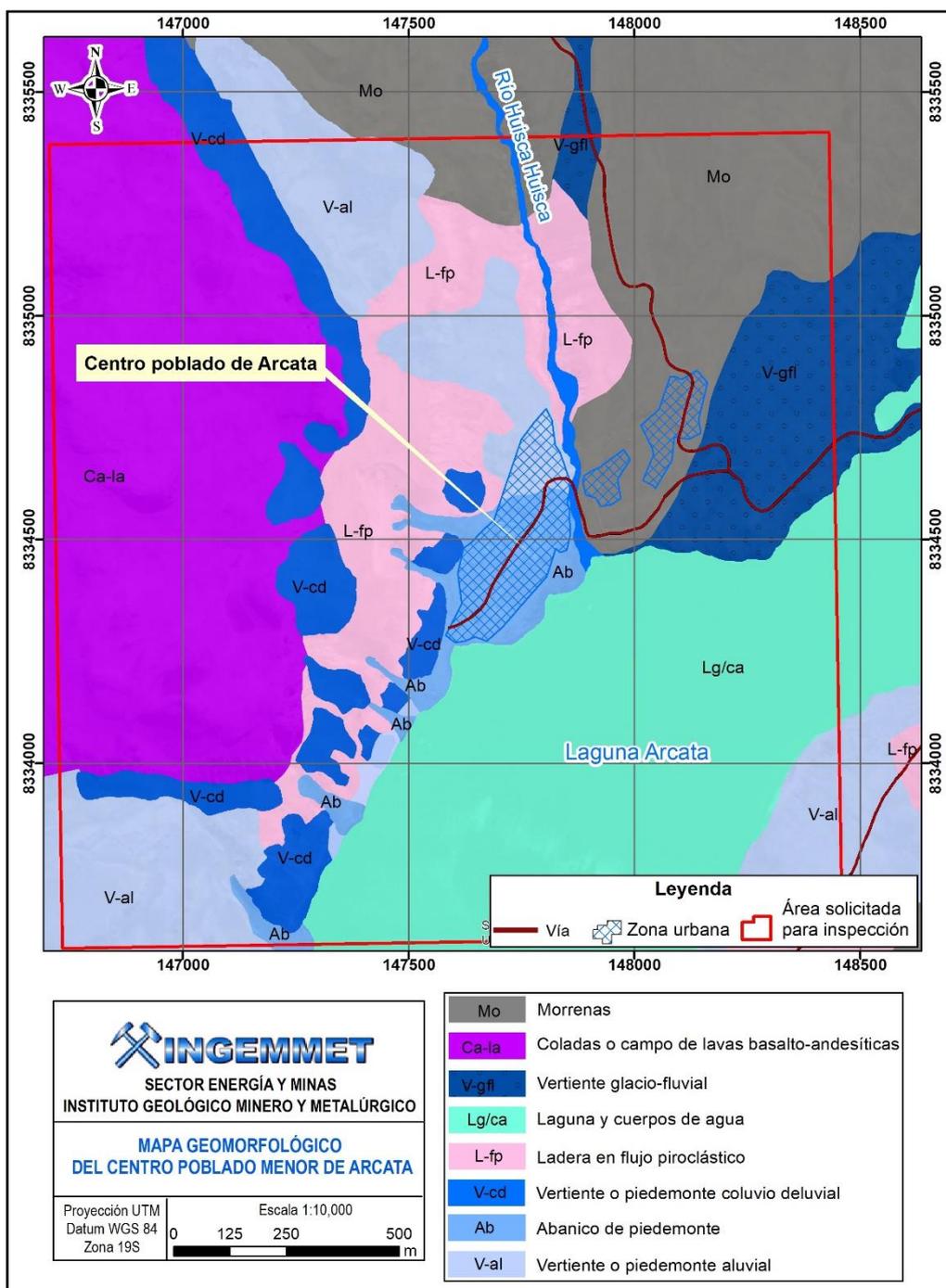


Figura 8. Mapa geomorfológico del sector Arcata (Tomado y modificado del mapa geomorfológico a escala 250,000 del Ingemmet)

El área de estudio se encuentra por encima de los 4500 m s.n.m. con vertientes elevadas y abruptas y valles en forma de u asociadas a procesos glaciares que erosionan las superficies durante su descenso desde las partes altas del altiplano, modelando los relieves existentes.

En el centro poblado menor de Arcata se han formado ocho geoformas o subunidades, como son: vertiente o piedemonte aluvial (V-al), abanico de piedemonte (Ab), vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), ladera en flujo piroclástico (L-fp), laguna y cuerpo de agua (Lg/ca), vertiente glacio-fluvial (V-gfl), coladas o campo de lavas basalto_andesítica (Ca-la) y Morrenas (Mo).

3.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

3.2.1.1 Unidad de volcánica

En esta unidad se agrupan a los paisajes generados por la actividad volcánica y por sus productos, los cuales han sufrido en diversos grados los efectos de la denudación pero que todavía conservan rasgos definidos de sus formas iniciales, Gomez & Pari (2020).

Coladas o campo de lavas basalto-andesíticas (Ca-la): Formas alargadas con lóbulos frontales de corto recorrido se asocian a lavas "lavas en bloques tipo aa", Zavala (2016).

En el centro poblado menor de Arcata esta subunidad está representado por relieves formados por lavas ubicadas en la parte alta de la zona urbana del Centro Poblado Menor de Arcata.

Ladera con flujo piroclástico (L-fp): Está representado por laderas conformado por depósitos potentes de flujos piroclásticos.

En Arcata esta unidad se ubica en la parte alta de la zona urbana del Centro Poblado Menor de Arcata

3.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

3.2.2.1 Unidad de Piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las unidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

Morrenas (Mo): Comprende geoformas convexas suaves y alargadas, producidas por la acumulación de materiales depositados por acción glaciaria, durante el Pleistoceno-Holoceno, a las cuales se les denomina morrenas; las cuales son acumulación de material heterométrico, se tienen tamaños de gravas con formas angulosas, bloques, arenas, dispuestas sin estratificación en abundante matriz de limo y arcilla, Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata este depósito se encuentra inconsolidado; están distribuidas a 500 metros al noreste de la zona urbana del centro poblado.

Vertiente glacio-fluvial (V-gfl): Subunidad geomorfológica formada por la acumulación de materiales de origen glaciario, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o por precipitaciones pluviales que se concentran; forman cursos de agua y transportan los materiales sueltos, Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata este depósito se encuentra inconsolidado; esta unidad está distribuida a 1500 metros al noreste de la zona urbana del centro poblado.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles, Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata esta unidad está distribuida en inmediaciones del Centro Poblado Menor de Arcata, en las partes bajas de los acantilados formados por los flujos piroclásticos y los flujos de lava.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al): Es una planicie inclinada a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso de los ríos o quebradas que los originan; la pendiente de estos depósitos es suave a moderadas (1° - 15°), Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata viene representado por relieves ubicados al pie de las laderas de los cerros; está distribuida en inmediaciones de la zona urbana.

Abanico de piedemonte (Ab): Son conoides o abanicos de baja pendiente hacia el valle (2° - 15°), formadas por acumulaciones de material acarreado por flujos, en la desembocadura de quebradas y ríos tributarios; muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas, que se activan excepcionalmente con la presencia del fenómeno de El Niño, que es cuando acarrean y depositan material, Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata esta unidad está distribuida en inmediaciones del reservorio de agua del Centro Poblado Menor de Arcata.

Laguna y cuerpos de agua (Lg/ca): Dentro de esta unidad se reúnen a todos los cuerpos de agua de origen natural (ríos y lagunas) y artificial (represamientos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo, Gomez & Pari (2020). En el centro poblado menor de Arcata esta unidad está representada por la laguna Arcata y Huisca Huisca.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el área evaluada corresponden a **movimientos en masa de tipo, flujo de tierras, caída de rocas, avalancha de detritos, derrumbe y deslizamiento**, (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por procesos de glaciación, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos. Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Como factores “detonantes” se tiene a las lluvias periódicas y extraordinarias que caen en la zona; así como, la actividad sísmica. En el área evaluada también se identificaron procesos de erosión de ladera de tipo cárcavas.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

En el Centro Poblado Menor de Arcata, ubicado en la margen derecha de la laguna Arcata, se identificaron ocurrencias de movimientos en masa (figura 9).

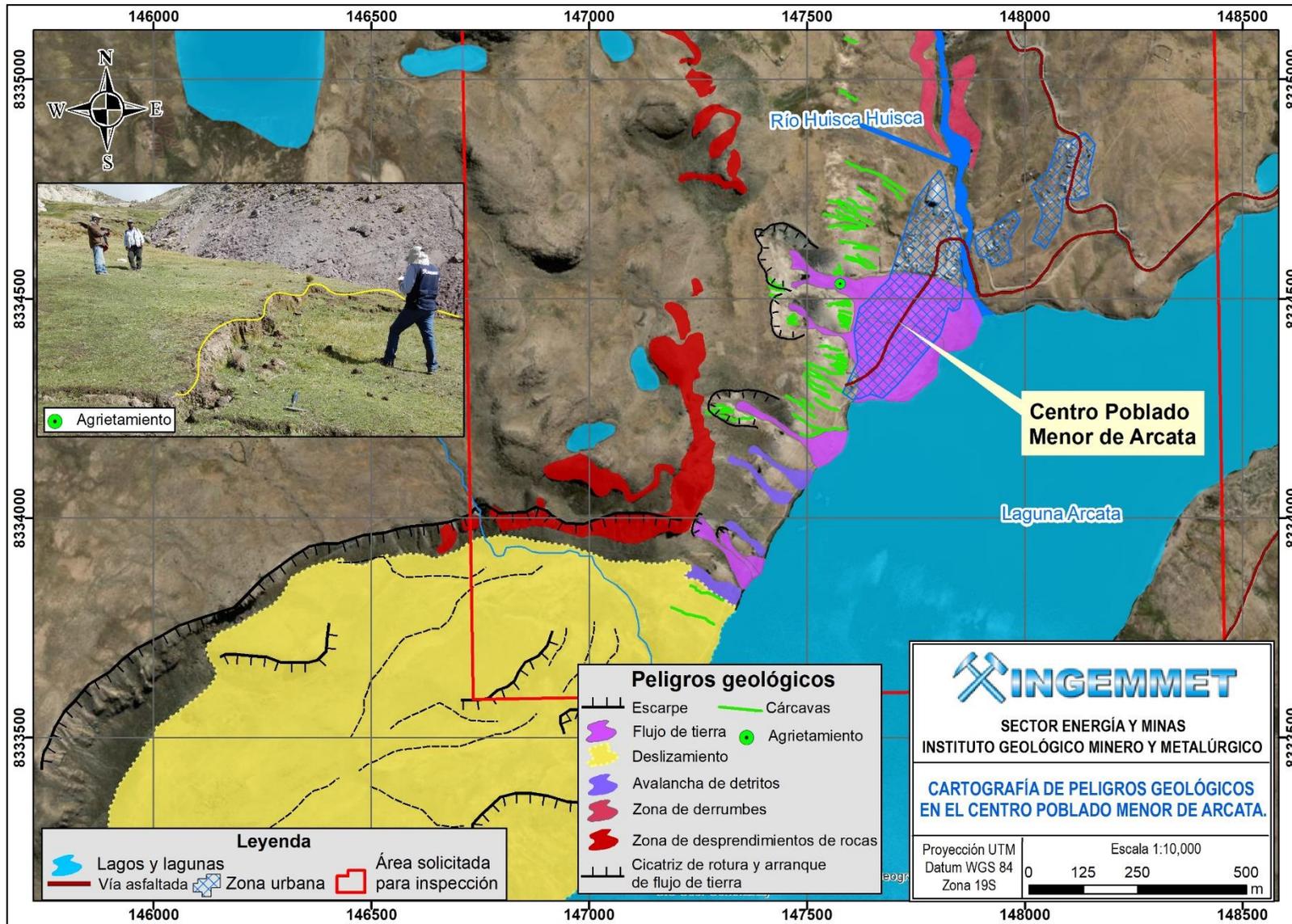


Figura 9. Mapa de cartografía de peligros geológicos en el centro poblado menor de Arcata.

4.1.1 Flujo de tierra

En el Centro Poblado Menor de Arcata, se aprecian cuatro flujos de tierra antiguos, no canalizados que se originaron en la ladera derecha del valle. En el punto de arranque de los flujos de tierra, se aprecian cicatrices de rotura con forma semicircular (figura 10).



Figura 10. Centro Poblado Menor de Arcata, se observa la cicatriz de rotura de los flujos de tierra y los depósitos en forma de abanicos.

En la parte alta de la zona urbana del Centro Poblado Menor de Arcata, en el sector Ccacca Carcel se evidencian dos depresiones con forma de herradura, que corresponden a las cicatrices de rotura de los flujos de tierra.

Las cicatrices Ca y Cb, (figura 10) poseen una longitud de 360 m y 180 m el salto de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización. El flujo, descendió en dirección de la zona urbana del centro poblado menor de Arcata, es decir en dirección sureste, hasta la laguna Arcata, ubicada en la parte baja.

Se observa claramente el abanico formado por los depósitos de los flujos de tierra, los cuales se originaron desde la parte alta del centro poblado menor de Arcata; desde los 4590 m s.n.m. el flujo presentó un recorrido aproximado de 530 m, hasta los 4470 m. es decir posee un desnivel de 60 m.

El depósito del flujo de tierra posee un espesor de más de 5 m no presenta gradación, es de tipo matriz soportada; se observan componentes volcánicos de lapilli de pómez retrabajada, bloques erráticos de naturaleza ignimbrítica de hasta 40 cm, de color gris blanquecino; los componentes mencionados se encuentran englobados en una matriz de ceniza retrabajada de color gris oscuro y limos. El depósito se encuentra inconsolidado y muy saturado. (figura 11)

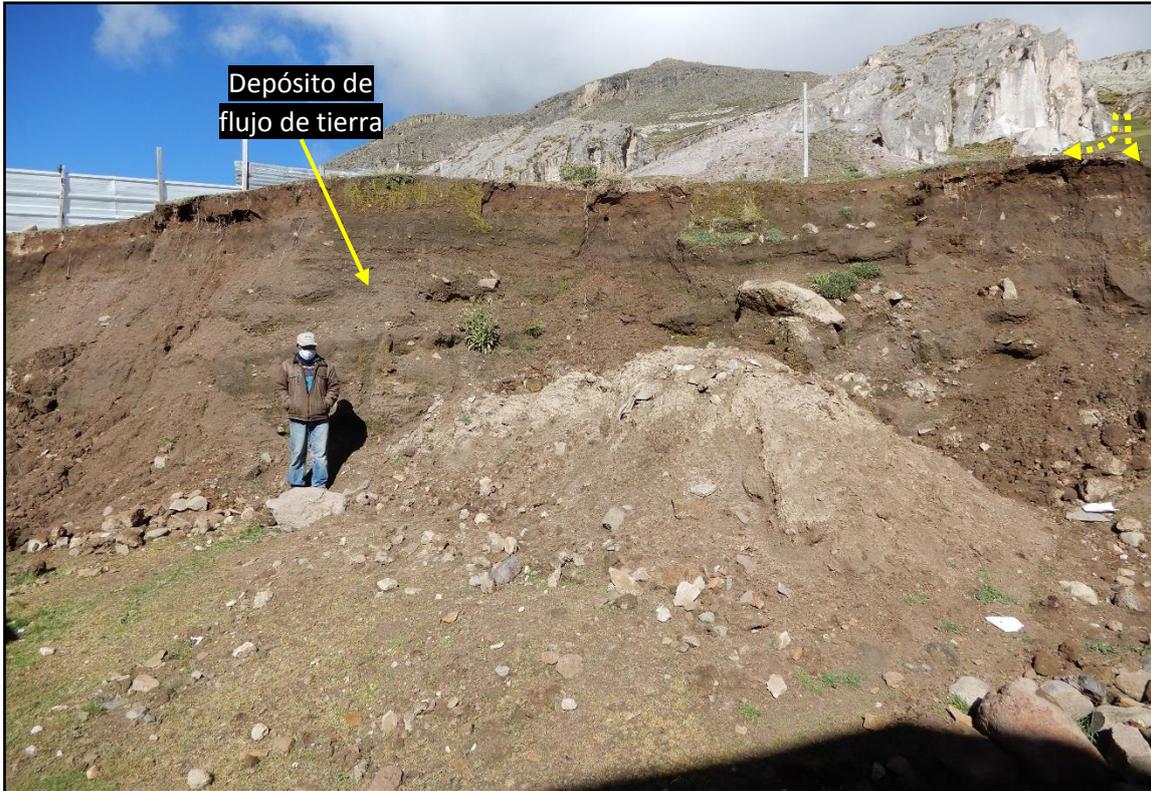


Figura 11. Se aprecian el depósito del flujo de tierra, sobre la cual está asentada gran parte de la zona urbana del centro poblado menor de Arcata. (coordenadas UTM E: 792866, N: 8335313).

Para la construcción de sus viviendas, los pobladores del centro poblado menor de Arcata, han cavado en el depósito del flujo de tierra, generando cortes con taludes pronunciados con inclinaciones verticales, los cuales pierden estabilidad por saturación de los depósitos con aguas de lluvias y manantiales de agua que surgen desde las partes altas de la zona urbana. Se ha encontrado una vivienda afectada por derrumbe en estos cortes. (figura 12)



Figura 12. Vivienda afectada por derrumbe a causa de corte realizado en el cuerpo del depósito de flujo de tierra. (coordenadas UTM E: 792866, N: 8335313).

En la parte alta de la zona urbana se han construido pequeños muros, a base de rocas, como un sistema de protección, para desviar las aguas provenientes de las partes altas; este tipo de muros no soportaría eventos considerables de flujos. (figuras 13 y 14)

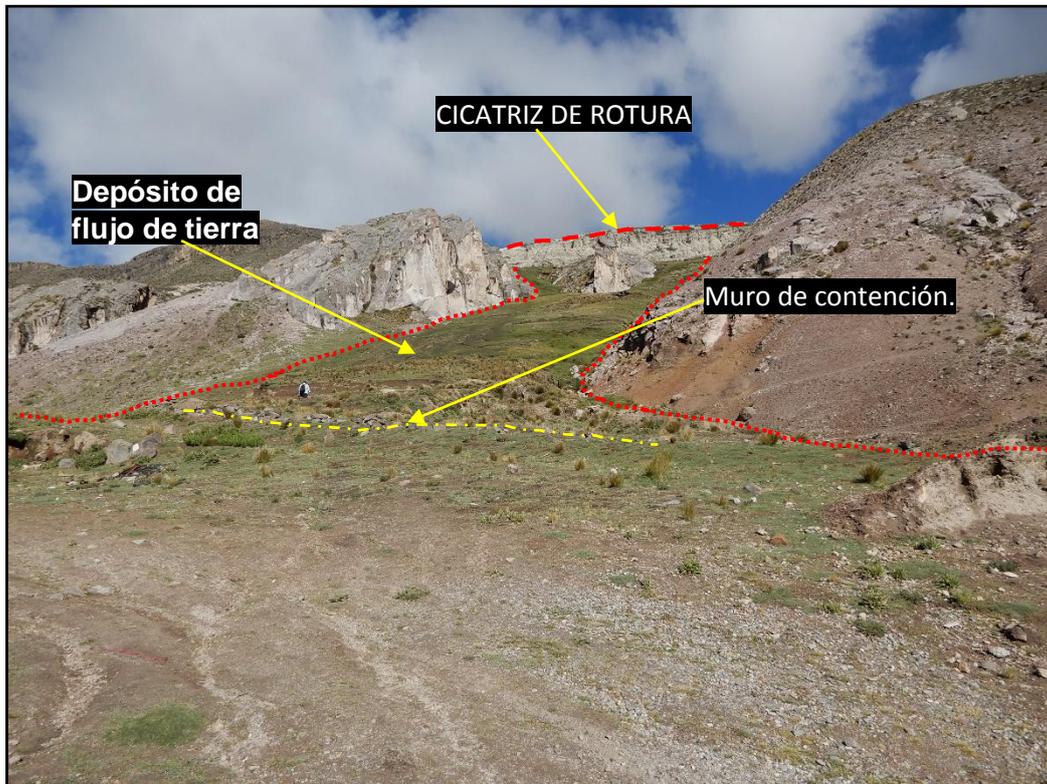


Figura 13. Depósito de flujo de tierra. (coordenadas UTM E: 792847, N: 8335354).



Figura 14. Muro de contención en la parte alta del Centro Poblado Menor de Arcata. (coordenadas UTM E: 792817, N: 8335341).

En la parte alta del centro poblado menor de Arcata, se evidencian varios puntos de surgencia de agua, aparentemente están a lo largo del contacto litológico entre los depósitos de la Formación Alfabamba y las lavas de la Formación Barroso.

En el punto UTM E: 792762, N: 8335346; se evidencia un agrietamiento de 14 metros de longitud, con un desnivel de 50 cm (figura 15). Este agrietamiento se desarrolla sobre el depósito de los movimientos en masa antiguos. El depósito se encuentra poco consolidado.



Figura 15. Agrietamiento en la parte alta del Centro Poblado Menor de Arcata. (coordenadas UTM E: 792762, N: 8335346).

4.1.2 Zona de derrumbes

Los derrumbes se presentan a lo largo del río que une las lagunas Huisca Huisca y Arcata. En ambas márgenes, afloran depósitos de corrientes piroclásticas, localmente llamado sillar; los cuales se presentan moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; la erosión fluvial, socaba las bases de ambas márgenes, dejándolos sin soporte (figura 16).



Figura 16. Zona de derrumbes en Arcata. (coordenadas UTM E: 792489., N: 8335672).

4.1.3 Caída de rocas

La caída de rocas en el centro poblado menor de Arcata, ocurre en los acantilados ubicados en la parte alta de la zona urbana; donde las pendientes son mayores a 45° (figuras 17a, 17d y 17e).

También se han encontrado bloques colgados, soportados por la base, los cuales podrían caer, si se les quita el soporte que actualmente tienen (figuras 17b y 17c).

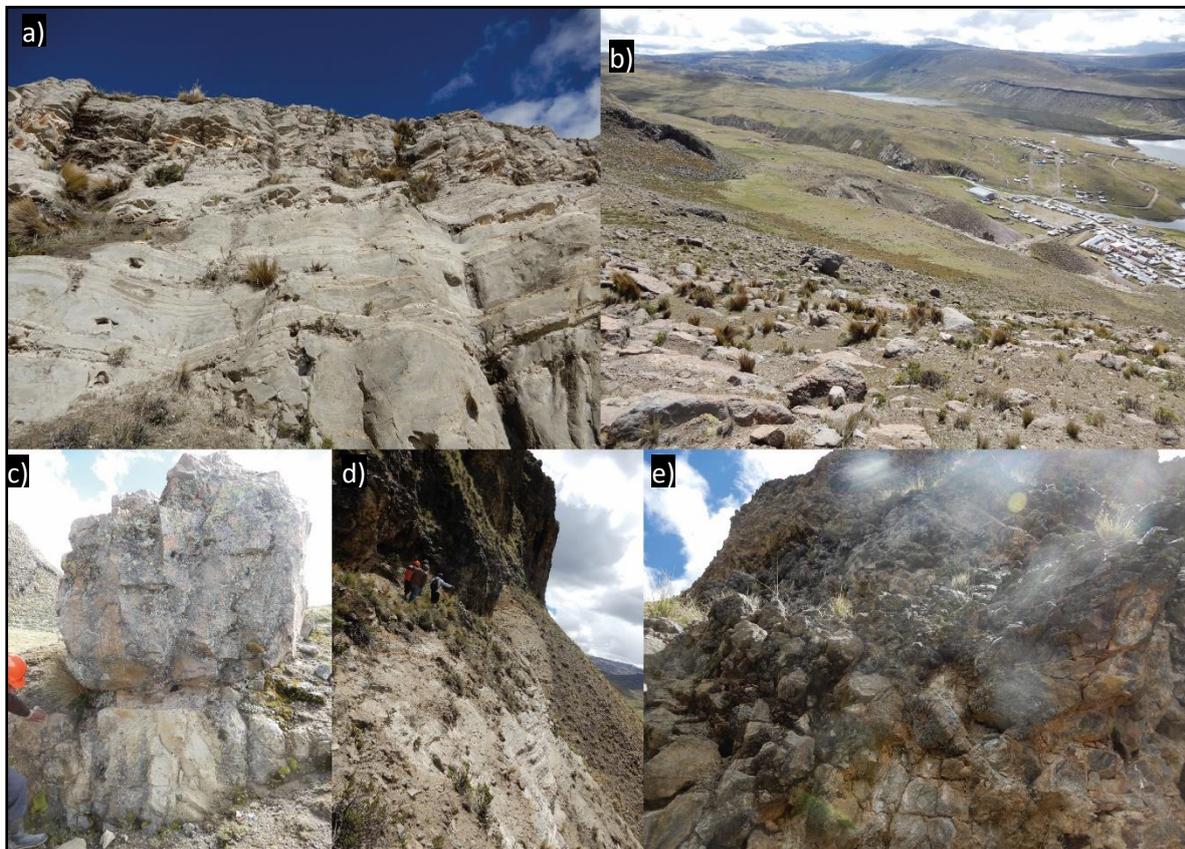


Figura 17. Se aprecian las zonas de desprendimiento de rocas, las cuales se ubican en las siguientes coordenadas UTM: a) E: 792616., N: 8335389; b) E: 792402, N: 8335233; c) E: 792581, N: 8335474; d) E: 792409, N: 8334808 y e) E: 792443, N: 8334875.

4.1.4 Avalancha de detritos

En el centro poblado menor de Arcata, los procesos de movimientos en masa de tipo avalancha de detritos, se desarrollaron en laderas ubicadas al suroeste de Arcata, (figura 9). Este tipo de procesos aporta material suelto removible en el cauce de las quebradas por efectos de la lluvia y escorrentía.

4.1.5 Erosión de laderas en cárcavas

Los procesos de erosión de ladera de tipo cárcavas en el centro poblado menor de Arcata, se presentan en las laderas compuestas por depósitos coluviales de antiguas ocurrencias de movimientos en masa. Las cárcavas poseen hasta 4 metros de ancho y entre 1 a 2 metros de profundidad (figura 18).



Figura 18. Procesos de erosión de ladera en cárcavas en la parte alta del centro poblado menor de Arcata. (coordenadas UTM E: 792808, N: 8335613).

4.1.6 Deslizamiento Arcata

A 800 m al suroeste del Centro Poblado Menor de Arcata, se aprecia una cicatriz, de más de 5 km de longitud. En las observaciones de imágenes satelitales se evidencia una depresión con forma de herradura, que corresponde al deslizamiento Arcata, (figura 19). La corona y el salto de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización que afectó el lugar.



Figura 19. Deslizamiento Arcata, ubicado a 800 m al suroeste del centro poblado menor de Arcata.

La masa deslizada o removida, generó un dique natural, el cual represó el río de ese tiempo, lo que originó la laguna de Arcata. (figura 20).

El cuerpo del deslizamiento presenta lomeríos en la ladera, los mismo que evidencian el empuje del terreno.

La empresa minera Ares Hochschild Mining, habría construido un dique a base de bloques de roca, para represar las aguas, (figura 21).



Figura 20. Cuerpo del deslizamiento Arcata y a cicatriz de deslizamiento.



Figura 21. Dique de la represa Arcata. (coordenadas UTM E: 791811, N: 8333534).

4.1.7 Deslizamiento Huisca Huisca

A 2 km al noroeste del centro poblado menor de Arcata, se aprecia una cicatriz, de 1.5 km de longitud. Según las imágenes satelitales se evidencia una depresión con forma no definida, que corresponde al deslizamiento Huisca Huisca, (figura 22). La corona y el salto de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización que afectó el lugar.



Figura 22. Deslizamiento Huisca Huisca, ubicado a 2 km al noroeste de Arcata.

La masa deslizada o removida, llegó hasta el fondo del valle glaciar, lo cual generó un dique natural y represó el río en ese tiempo, lo que originó la laguna Huisca Huisca.

El cuerpo del deslizamiento presenta lomeríos en la ladera, los mismo que evidencian el empuje del terreno.

La empresa minera Ares Hochschild Mining, habría construido un dique a base de bloques de roca, para represar las aguas. En el dique se observan bloques fracturados y desprendidos, que están fuera del armazón del dique (figura 23).



Figura 23. Dique de la represa Huisca Huisca. (coordenadas UTM E: 792438, N: 8337194).

4.2. Peligros por inundación fluvial

Este peligro es latente y recurrente en el centro poblado menor de Arcata, a causa del desborde de las aguas de las represas Arcata y Huisca Huisca, en temporada de lluvias. En base a lo mencionado anteriormente la represa Huisca Huisca ubicado aguas arriba del centro poblado menor de Arcata, podría colapsar, inundar y destruir todo lo que encuentre a su paso, en este caso viviendas del centro poblado menor de Arcata.

- El 27/02/2019 después de una fuerte lluvia más de 150 familias decidieron pernoctar en carpas en los cerros del centro poblado menor de Arcata, por temor a inundaciones y desprendimiento de ladera. Se evidenciaron aberturas de tierra de 40 cm con longitudes hasta de 80 metros. Fuente: El Comercio Perú.
- El 01/03/2019 los pobladores del centro poblado menor de Arcata abandonaron sus viviendas para instalarse en el cerro, en pequeñas carpas de plástico, y dormir bajo la lluvia, granizo, nieve y viento (figura 24). Fuente: Diario el Correo



Figura 24. Población del centro poblado menor de Arcata en carpas, ubicados en los cerros, por miedo a inundación.

4.3. Factores condicionantes

- Rocas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas de los niveles superiores de la Formación Alpbamba, conformada por una secuencia pseudo estratificada de niveles de ceniza volcánica, con facies retrabajadas de corrientes piroclásticas y lapilli pómez retrabajada; rocas de la Formación Barroso, conformada por lavas andesíticas, medianamente meteorizadas y moderadamente fracturadas. Además, la meteorización y los movimientos en masa antiguos en la zona han generado depósitos conformados por bloques, cenizas y limos, poco compactados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
- La pendiente de los terrenos en el Centro Poblado Menor de Arcata, el cual varía desde llano a inclinado suavemente (1° - 5°) al pie de las laderas, en los abanicos formados por los depósitos de los flujos de tierra; en la parte media de la ladera en Arcata se presenta un cambio de pendiente a muy fuerte (25° - 45°) y pendientes escarpados ($> 45^{\circ}$) acantilados formados por lavas volcánicas, ubicadas en las partes altas de la zona urbana del Centro Poblado Menor de Arcata.
- La presencia de surgencias de agua, ubicadas a lo largo del contacto litológico entre las rocas de la Formación Alpbamba y las lavas de la Formación Barroso.
- El centro poblado menor de Arcata se ubican al mismo nivel que el dique de la represa Arcata y respecto a la represa Huisca Huisca el poblado se ubica por debajo del nivel de la represa.

4.4. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el periodo de lluvia en la sierra de Perú se da en los entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento, los flujos también son generados por lluvias intensas.
- Presencias de sismos en la zona andina (según Tavera (2014), los sismos se presentan de gran magnitud en las zonas de Ayacucho, Cusco, Abancay y Arequipa debido a la presencia de importantes sistemas de fallas), Los deslizamientos y caída de rocas son efectos secundarios que se presentan en la ocurrencia de sismos de gran magnitud

5. CONCLUSIONES

1. En el centro poblado menor de Arcata, afloran rocas de la Formación Alpbamba (Nm-al), conformada por un nivel inferior de flujo piroclástico (ignimbritas), de coloración gris blanquecina, con fragmentos líticos erráticos de color gris oscuro, nivel moderadamente meteorizadas y medianamente fracturada. El nivel intermedio es una secuencia pseudo estratificada de ceniza volcánica, flujos piroclásticos retrabajados y lapilli pómez retrabajada, las cuales se encuentran altamente meteorizado y medianamente fracturado. Al tope, se aprecia un nivel de flujo piroclástico (ignimbrita) completamente meteorizado.
2. En el centro poblado menor de Arcata, también afloran rocas de la Formación Barroso (NQ-ba/an), conformadas por lavas andesíticas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Entre los depósitos cuaternarios se tiene a los morrénicos (Qpl-mo), fluvio-glaciares (Qpl-fg), aluviales (Qh-al), proluviales (Qh-pr) y coluviales (Qh-col) los cuales se encuentran inconsolidados.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área evaluada comprenden: **flujo de tierras, derrumbes, caída de rocas; avalancha de detritos, y deslizamientos**, asimismo, se han observado procesos de **erosión de ladera, tipo cárcavas, y peligro por inundación**.
4. Los peligros geológicos en el Centro Poblado de Arcata, están condicionadas por las rocas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Formación Alpbamba; rocas la Formación Barroso, conformada por lavas andesíticas, medianamente meteorizadas y moderadamente fracturadas. Además, la meteorización y los movimientos en masa antiguos en la zona han generado depósitos conformados por bloques, cenizas y limos, poco compactados, que permite la infiltración y retención del agua, de esta manera los terrenos son fácilmente saturados.
5. La pendiente en el Centro Poblado de Arcata varía desde llano a inclinado suavemente (1° - 5°) al pie de las laderas, en los abanicos formados por los depósitos de los flujos de tierra; en la parte media de la ladera en Arcata se presenta un cambio de pendiente a muy fuerte (25° - 45°) y pendientes escarpados ($> 45^{\circ}$) acantilados formados por lavas volcánicas, ubicadas en las partes altas de la zona urbana del Centro Poblado Menor de Arcata.
6. Las viviendas del Centro Poblado Menor de Arcata, se construyeron sobre depósitos de flujos de tierras antiguas, que desenliaron por el sector Ccacca Carcel.
7. Se identificó un primer deslizamiento importantes, ubicado a 800 m. al suroeste del Centro Poblado Menor de Arcata, donde se aprecia una cicatriz, de más de 5 km de longitud. Según las imágenes satelitales se evidencia una depresión con forma de herradura, que corresponde al deslizamiento Arcata. La corona y el salto de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización. La masa deslizada generó un dique natural, el cual represó el río existe en ese tiempo, lo que generó la laguna de Arcata.
8. Se identificó un primer deslizamiento importantes, ubicado a 800 m. al suroeste del Centro Poblado Menor de Arcata, donde se aprecia una cicatriz, de más de 5 km de longitud. Según las imágenes satelitales se evidencia una depresión con forma de herradura, que corresponde al deslizamiento Arcata. La corona y el salto

de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización que afectó el lugar. La masa deslizada generó un dique natural, el cual represó el río existe en ese tiempo, lo que originó la laguna de Arcata.

9. Se identificó un segundo deslizamiento importante, ubicado a 2 km al noroeste del Centro Poblado Menor de Arcata, donde se aprecia una cicatriz, de 1.5 km de longitud. Según las imágenes satelitales se evidencia una depresión con forma no definida, que corresponde al deslizamiento Huisca Huisca. La corona y el salto de escarpe, no se observan nítidamente debido a los procesos de erosión y meteorización. La masa deslizada generó un dique natural, el cual represó el río existe en ese tiempo, lo que originó la laguna Huisca Huisca.
10. En las lagunas Arcata y Huisca Huisca se construyeron diques a base de bloques de roca, para represar las aguas de ambas lagunas. En el armazón de los diques se observan bloques fracturados y bloques sueltos que están fuera del armazón.
11. Se concluye que, el Centro Poblado Menor de Arcata, es considerada zona crítica y de **Peligro Muy Alto**, el sector puede ser afectados por flujo de tierra, que pueden ocurrir en la temporada de lluvias. Además, en el sector se pueden genera nuevas reactivaciones de los deslizamientos, caída de rocas y peligros por inundación, debido a las represas ubicadas próximos al centro poblado.

6. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda reubicar las viviendas del Centro Poblado Menor de Arcata, a un lugar en el que no se observe perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.
2. 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 en área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
3. Realizar una evaluación de riegos EVAR en el sector que se escoja para la reubicación del centro poblado menor de Arcata.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

BIBLIOGRAFÍA

Caldas, J. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 46, 62 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2056>

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3, 1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The análisis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

Dias, J. & Lajo, A. (2001). Actualización de Mapa geológico del cuadrángulo de Orcopampa (Hoja 31-r). INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2054>

Gomez, H. & Pari, W. (2020) - Peligro geológico en la región Puno. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 77, 236 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2575>

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

OLCHAUSKI, E. & DÁVILA, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 50, 52 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/171>

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

Salas, G., et al (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chulca (30-q), Cayarani (30-r), Cotahuasi (31-q) y Orcopampa (31-r), escala 1:100 000. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2054>

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

WILSON, J.J. & GARCÍA, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. Com. Carta Geol. Nac., Boletín, 4, 81 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/114>

Zavala, B. (2017). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en la subcuenca Cotahuasi. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

ANEXO 1 GLOSARIO

Deslizamiento

Llamado también fenómenos de ladera o movimientos de ladera; son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad, Corominas y García Yagüe, (1997).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo rotacional, como evidencia en la zona, (figura 25), ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

Deslizamiento rotacional, es cuando la superficie de rotura es una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, Antoine, (1992), se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Se puede mencionar algunos factores que desencadenan los deslizamientos: rocas muy fracturadas y alteradas o suelos poco coherentes, saturación de suelos o roca alterada por intensas lluvias, deforestación de tierras, erosión fluvial, erosión de laderas (cárcavas), modificación de taludes de corte, actividad sísmica y volcánica.

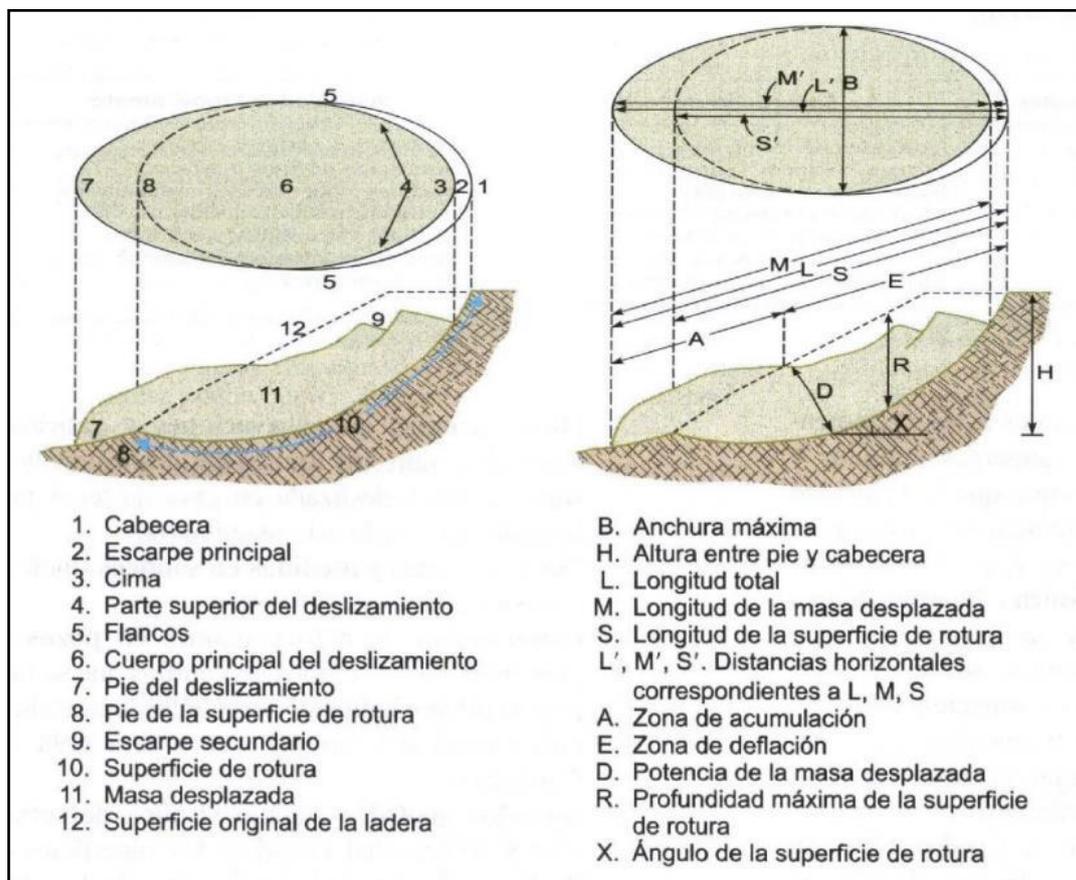


Figura 25. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo., (2002).

caídas o desprendimientos de rocas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento, Varnes, (1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada, (figuras 26 y 27). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

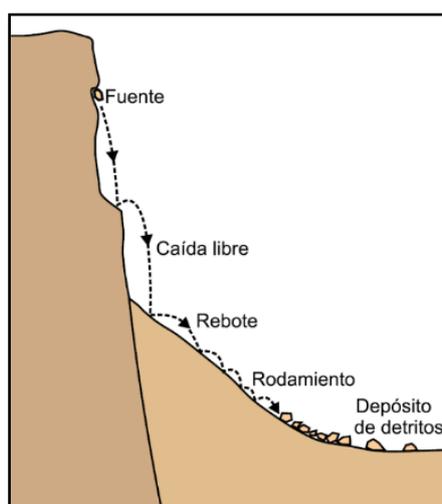


Figura 26. Esquema de la caída de rocas

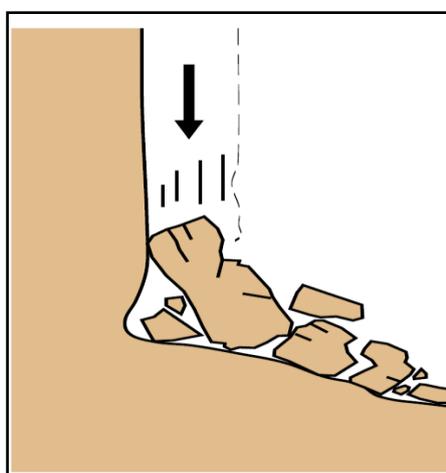


Figura 27. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento "colapso".

Erosión de laderas (Cárcavas)

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras, (figura 28).

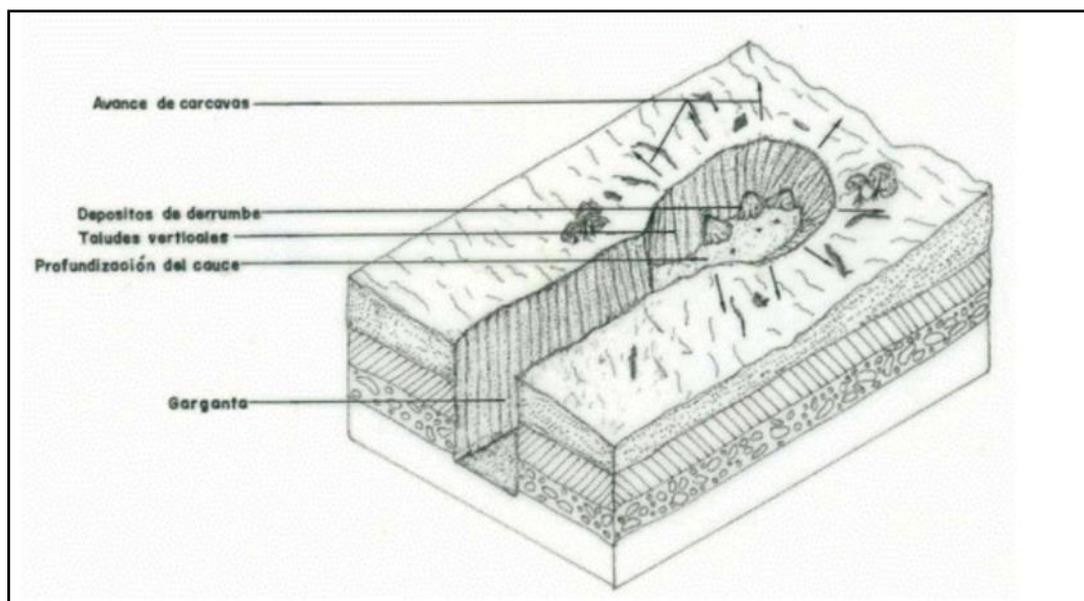


Figura 28. Proceso de formación de cárcavas

Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento de suelo arcilloso plástico (Hungry et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutvinson, 1998). El volumen de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.