

Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado Cajamarquilla

Geological and geodynamic aspects of alluvial flows in the Jicamarca gorge and vulnerability analysis for the implementation of Early Warning System (EWS) in the Cajamarquilla town

Cristhian Chiroque¹ y Héctor Lavado²

RECIBIDO: 09/08/2016 - APROBADO: 25/10/2016

RESUMEN

El estudio de los flujos aluvionales ocurridos en la quebrada Jicamarca se realizó con la finalidad de diseñar e implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) basado en el cartografiado geológico y geodinámico de los depósitos y materiales encontrados en las terrazas y abanicos aluviales originados por antiguos flujos ocurridos en las quebradas Colca, El Silencio, Río Seco, Huaycoloro y Jicamarca, a través de las cuales se determinó los tipos de flujos. Se trata de un estudio descriptivo de las características físicas de las rocas (fuente de aporte de materiales para futuros aluviones) que afloran a lo largo de los tributarios que forman a la quebrada Jicamarca. Se delimitó 22 abanicos aluviales y se calculó el volumen total aproximado de materiales aportantes a lo largo de la cuenca (1 023 495 m³). Los resultados obtenidos de los trabajos de campo y gabinete realizados a lo largo de un año muestran que la quebrada Colca, El Silencio y Río Seco aportan el 25.9%, 3.6% y el 70.8% de materiales respectivamente. Lo descrito anteriormente determina que existen condiciones para que sigan ocurriendo flujos que puedan afectar la seguridad física de los centros poblados ubicados en la parte baja de la cuenca, siendo uno de los más afectados el centro poblado Cajamarquilla. Por ello, se realizó la estimación de la vulnerabilidad de los 9 sectores urbanos que conforman el centro poblado, tomando en cuenta el Manual para la Evaluación de Riesgos de CENEPRED, se determinó que la vulnerabilidad social, económica y ambiental de la zona de estudio es media, alta y muy alta respectivamente.

Palabras clave: Geología, geodinámica, flujos aluvionales, sedimentos, vulnerabilidad.

ABSTRACT

The alluvial flows study occurred in the Jicamarca gorge was made in order to design and implement an Early Warning System (SAT), considering geological mapping and geodynamic of the deposits and materials found on the alluvial terraces and alluvial fans originated by ancient flows occurred in the Colca, El Silencio, Río Seco, Huaycoloro and Jicamarca gorge through these, types of flows were determined. This is a descriptive study of the physical characteristics of the rocks (source of supply of materials for future alluvium) outcropping along the tributaries that form the Jicamarca gorge. The delimitation of geoforms as 22 alluvial fans and the total approximate volume of contributors materials along the basin (1,974,522 m³) was calculated. The results of field and laboratory work conducted over one year, show that the Colca, El Silencio and Río Seco gorge contribute whit materials in 25%, 5% and 70% respectively. Described above determines that there are conditions that going to continue flows that may affect the security of towns located in the lower part of the basin, one of the most affected is the Cajamarquilla town. That is why, estimating the vulnerability of the 9 urban sectors that make up the town was made, taking into account the Manual para la evaluación de riesgos de CENEPRED, and it was determined that the social, economic and environmental vulnerability of the area study is medium, high and very high respectively.

Keywords: Geology, geodynamics, alluvial flows, sediment, vulnerability.

¹ Asistente de Investigación del IGP. E-mail: cristhianchiroque@gmail.com

² Asistente de Investigación del IGP. E-mail: hectorlavado22@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Los eventos aluvionales acontecidos en la quebrada Jicamarca en los años 1983, 1987, 1998 y 2012, ocasionaron daños en las infraestructuras socioeconómicas tales como viviendas, granjas, áreas de cultivo. Cabe destacar que, el flujo ocurrido en el año 1987 es considerado el más grande por la percepción de los pobladores establecidos entonces en la quebrada, mientras que, el del año 1998 afectó al distrito del Rímac debido al desborde del río del mismo nombre, a causa de la confluencia de los grandes volúmenes de sedimentos del flujo obturados en el puente Huaycoloro (con localización próxima al río Rímac) y las aguas del río citado. Dichos flujos, alcanzaron en el año 2012 velocidades promedio de hasta 6m/s y espesores de 1 m y 10 cm en la quebrada y la zona urbana respectivamente. Debido a los antecedentes descritos líneas arriba, se realizó el estudio de la fenomenología de los flujos, el cual es importante, ya que permitió caracterizar los sedimentos encontrados en las geoformas modeladas por antiguos aluviones, el espesor de los depósitos (3 a 8 m de alto) y tamaño de la fracción granular (0.15 a 3 m de diámetro), y la matriz conformada por limos y arcillas. Basado en este estudio, se determinaron los puntos donde se colocaron los dispositivos de monitoreo del Sistema de Alerta Temprana (SAT), también se determinaron los tipos de flujos ocurridos en la quebrada Jicamarca. Frente a este escenario se estimó la peligrosidad de los eventos tipo flujos para el posterior análisis de la vulnerabilidad (condiciones de exposición, fragilidad y resiliencia de la población), tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y ambientales de la zona estudiada. Utilizando la metodología del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), se obtuvieron altos niveles de vulnerabilidad en el centro poblado Cajamarquilla.

I.1 Área de estudio

La zona de estudio comprende la cuenca de la Quebrada Jicamarca y las subcuencas de las quebradas Huaycoloro, Río Seco, El Silencio y Colca (Figura N° 1).

El proyecto abarca un área total de 2434 hectáreas y, aproximadamente, 30 km de recorrido entre las quebradas antes mencionadas.

El centro poblado de Cajamarquilla se encuentra asentado en ambas márgenes de la quebrada Jicamarca en el distrito de Lurigancho-Chosica, con las siguientes coordenadas UTM: 8675459N, 293619E y 422 msnm.

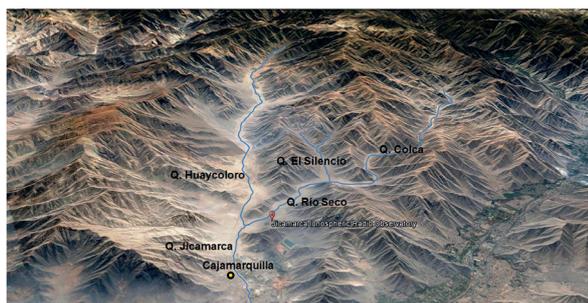


Figura N° 1. Ubicación de la zona de estudio.

II. MÉTODO Y MATERIALES

2.1 Metodología

El desarrollo del estudio consistió en la recopilación de información, trabajo de campo, procesamiento en gabinete y presentación de resultados finales. El trabajo de campo se realizó en ocho campañas de siete días cada una: dos campañas para el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico de la quebrada río Seco, dos para la quebrada Jicamarca, dos para Huaycoloro y dos campañas para levantar perfiles topográficos en las quebradas antes mencionadas. Se evaluaron los aspectos sociales, económicos y ambientales de los nueve sectores urbanos que conforman el centro poblado de Cajamarquilla, tomando en cuenta el Manual para la evaluación de riesgos de CENEPRED. La información fue recolectada y clasificada en una base de datos, luego procesada y analizada bajo un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) y estadístico, respectivamente.

2.2 Materiales

Se utilizaron imágenes satelitales, fotografías aéreas, planos geológicos, uso del suelo, catastro y cartas nacionales del IGN, INGEMMET, entre otros. También, estación Total, GPS navegador, cinta métrica y huincha; asimismo, se utilizaron fichas con parámetros de evaluación de la vulnerabilidad citados en el Manual de CENEPRED. Establecidos los puntos de monitoreo, se implementó el SAT con dos sensores de ultrasonido, una cámara IP, dos antenas, dos paneles solares, una batería, una computadora de escritorio.

III. CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO ALUVIONAL

3.1 Objetivos

El proyecto consistió en el cartografiado geológico y geodinámico a escala local 1:10000 de las quebradas antes mencionadas, con la finalidad de describir los tipos de rocas y depósitos Cuaternarios, además de identificar las geoformas y los agentes modeladores que intervinieron en su formación. La caracterización de los materiales que conforman los depósitos identificados a lo largo de la cuenca ha permitido determinar los tipos de flujos que ocurrieron en la antigüedad.

Se inventariaron los conos aluviales mediante la observación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y trabajo de campo con el objetivo de calcular los volúmenes de materiales aportantes a futuros eventos. Basado en los datos obtenidos, se ubicaron los puntos de monitoreo para el establecimiento del Sistema de Alerta Temprana (SAT).

3.2 Geomorfología de la zona

En el estudio de flujos aluvionales es importante identificar las fuentes de materiales aportantes, los afloramientos rocosos, así como los materiales de cobertura tales como, las gravas, clastos y bloques que han sido originados por la interacción de fuerzas endógenas y exógenas que actuaron sobre la superficie. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones producidas por movimientos

de componente vertical (orogenia andina – Batolito de la Costa); las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que modela el relieve, este proceso se agrupa en la secuencia de meteorización-erosión, transporte y sedimentación y que dan como resultado las diferentes geoformas que hoy conocemos (Modificado de Gutiérrez, 2008).

3.2.1 Estribaciones Andinas

Esta unidad fue originada por el emplazamiento del Batolito Costero y fue modelado por agentes erosivos tales como el agua y el viento, está conformado por laderas y crestas de topografía abrupta principalmente compuesto por plutones que abarcan el 60% del área de estudio (Figura N° 2).

3.2.2 Valle desértico

Esta unidad abarca el 25% de área de estudio y está conformada por los valles de las quebradas: Colca, El Silencio, Río Seco, Huaycoloro y Jicamarca, las cuales permanecen secas durante la mayor parte del año (mayo-octubre), discurrendo agua solo en temporadas de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas en los sectores andinos (Figura N° 2).

3.2.3 Conos aluviales

Estas geoformas fueron el resultado de la acumulación de escombros conformados por bloques, clastos y gravas de origen volcánico sedimentario con matriz arenolimoso. Se inventariaron 23 abanicos aluviales conformando el 15% del total de la zona de estudio. (Figura N° 3). Los volúmenes calculados son: Q. Colca con 7 abanicos aluviales y un volumen de 503 250 m³, Q. El Silencio con nueve abanicos y 72 420 m³ y la quebrada río Seco con siete abanicos y un aproximado de 1 398 849 m³.

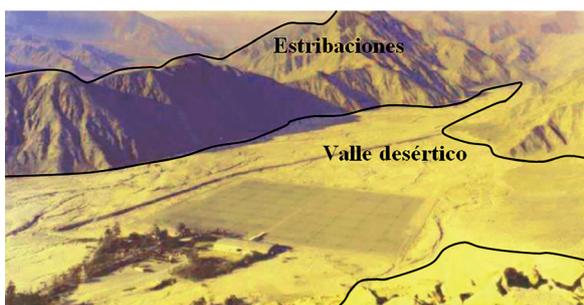


Figura N° 2. El Radio Observatorio de Jicamarca se encuentra ubicado sobre el valle desértico.



Figura N° 3. Los conos aluviales aportan materiales a los flujos de detritos

3.3 Geología

La geología histórica del área de estudio está vinculada al desarrollo del geosinclinal andino, ubicado al este de Lima, el cual ha sido afectado por el emplazamiento del Batolito.

A finales del Albiano, se incrementó la actividad volcánica, lo que dio lugar al grupo Casma, representado por el volcánico Quilmaná. Luego se produce la primera fase de compresión, la cual levanta y pliega la columna sedimentaria de Lima incluyendo al Grupo Casma. Paralelamente a esta fase tectónica se emplazan los cuerpos del Batolito de la Costa. A fines del Terciario y comienzos del Cuaternario, se inició un proceso erosivo intenso que produjo valles, erosionando y transportando gran cantidad de materiales hacia la llanura costera, formando los abanicos aluviales.

3.3.1 Batolito de la Costa

El 70% del área de estudio está dominado por afloramientos de rocas de naturaleza granodiorítica y tonalítica. Este gran emplazamiento estuvo constantemente intruido, esta condición alteró la composición interna de las rocas, lo que ocasionó que este tipo de rocas sean fácilmente erosionables, ya que se encuentran altamente diaclasadas. Geológicamente, el Batolito es la principal fuente de materiales que van a alimentar a los principales conos aluviales.

3.3.2 Geodinámica superficial

Uno de los objetivos de este estudio es la caracterización de los eventos geodinámicos (flujos de detritos, flujos de lodos y flujos secos) ocurridos en las quebradas Colca, El Silencio, Río Seco, Huaycoloro y Jicamarca. Este trabajo se realizó a través de la observación y descripción de los materiales encontrados en las terrazas y depósitos enmarcados en los cauces de las quebradas, permitiendo definir el tipo de flujo, determinar el componente agua-partícula-matriz y los volúmenes aproximados (Figura N° 04); además de los procesos y agentes internos y externos que crean, degradan, forman y modelan la superficie.

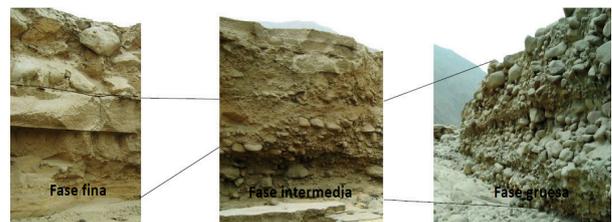


Figura N° 4. Tipos de depósitos encontrados en la quebrada Colca.

3.4 Movimientos en masa (MM)

El concepto más aceptado a nivel internacional es el propuesto por Cruden en el año 1991: son todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras por efectos de la gravedad.

La clasificación de MM de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988) es actualmente, el sistema más utilizado. Esta tiene en cuenta dos elementos: el tipo de movimiento y el material. En cuanto al tipo de movimiento, se

consideran cinco clases: caída, volcamiento, deslizamiento, flujo y propagación lateral. Dentro de los materiales se consideran: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras.

3.4.1 Flujo de detritos

Son eventos extremadamente rápidos de detritos saturados, no plásticos que transcurren principalmente confinados a un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras, o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender por el canal. Finalmente, los materiales se depositan en forma de abanicos (Figura N°5).



Figura N° 5. Los abanicos aluviales cartografiados en la quebrada Jicamarca han sido originados por flujos de detritos.

3.4.2 Flujos secos

Cuando se refiere al término flujo, evidentemente, se piensa en eventos con contenido de agua, y de hecho, para la mayoría de los movimientos de este tipo, se requiere cierto contenido de agua. Sin embargo, ocurren con frecuencia, flujos secos de material granular con consecuencias catastróficas (Figura N° 6).



Figura N° 6. Los cortes observados en las quebradas presentan en mayor porcentaje, contenidos de bloques, clastos y gravas angulosas a subredondeadas.

3.4.3 Flujo de lodo

Son flujos canalizados muy rápidos a extremadamente rápidos con contenido de detritos. Este tipo de eventos son, mayormente, saturados y plásticos; además, el contenido de agua es significativamente mayor al de los materiales. El

comportamiento dinámico de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa y/o limosa modifica la reología del material (Figuras N° 7, 8 y 9).

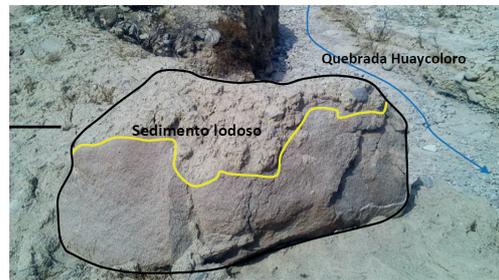


Figura N° 7. El bloque se ubica sobre el valle aluvial, 5 m por encima del nivel del cauce principal de la quebrada Huaycoloro y de los depósitos 1 y 2.

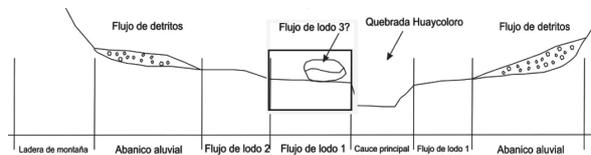


Figura N° 08. Perfil transversal del valle desértico de la quebrada Huaycoloro.

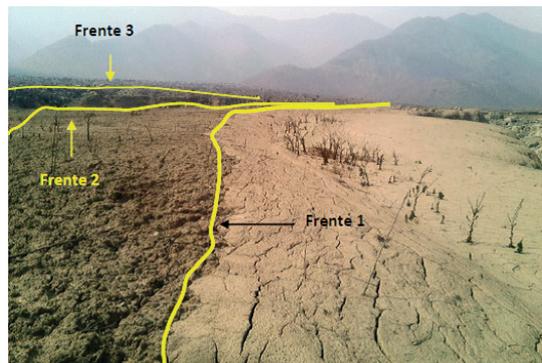


Figura N° 9. En campo se diferencian hasta tres tipos de depósitos, los cuales representarían diferentes frentes de ondas (pulsos) sobre la superficie dejada por los flujos de lodo.

IV. VULNERABILIDAD

Se define como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza (SINAGER, 2011). El análisis de la vulnerabilidad se rige por la evaluación de tres factores: exposición, fragilidad y resiliencia.

Se determinó la vulnerabilidad de los nueve sectores urbanos que forman parte del centro poblado de Cajamarquilla (El Ayllu, Jardines de la Florida, Riberas de Cajamarquilla, Saracoto, Villa Florida, Residencial Cajamarquilla, Lotización Cajamarquilla, Los Claveles y Milenium; se tomó en cuenta la metodología del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

En el presente capítulo, se describe una breve reseña de los primeros asentamientos humanos en la quebrada Jicamarca y los niveles de vulnerabilidad social, económica y ambiental de los sectores urbanos del centro poblado de Cajamarquilla.

4.1 Antecedentes

Primer asentamiento poblacional

El nombre del centro poblado Cajamarquilla proviene de la ciudadela del mismo nombre establecida en el margen izquierdo del cauce de la quebrada Jicamarca.

La ciudadela citada fue un antiguo e importante centro teocrático y comercial que se desarrolló entre los años finales del periodo Intermedio Temprano (aprox. 200 – 700 d.C) y la conquista del imperio Incaico (1450 d.C) (Ministerio de Cultura, 2013).

Cajamarquilla se encuentra en un punto intermedio entre el valle bajo y medio del valle Rímac, con acceso hacia las zonas más altas propias de la chaupi yunga (Canziani, 2009). Esta zona fue un área de tierra muy fértil y la principal ruta comercial entre el Altiplano (serranía de Canta) y las comunidades de la costa del Pacífico. La ciudadela devino, por tanto, en un importante centro comercial durante la llamada Cultura Lima y, posteriormente, durante la Cultura Ychma (Figura N° 10).

	PERIODOS	AÑOS	SOCIEDADES EN LA COSTA CENTRAL	SITIOS REPRESENTATIVOS
	Horizonte Tardío	1476-1532 d.C.	Inca Ychma	Pachacamac / Puruchuco Tambo Unga / Cerro Matabuey
	Intermedio Tardío	1000-1476 d.C.	Ychma Chancay	Pachacamac / Maranga Mateo Salado / Mangamarca CAJAMARQUILLA
	Horizonte Medio	600-1000 d.C.	Nievería (Influencia Wari)	Pachacamac / Nievería CAJAMARQUILLA
	Intermedio Temprano	200-600 d.C.	Lima	Pachacamac / Maranga / Pucllana Cerro Culebras / Huallamarca / Huaca Trujillo CAJAMARQUILLA

Figura N° 10. Cronología de la ciudadela de Cajamarquilla

Fuente: Ministerio de Cultura (2013).

Cabe resaltar que, la Cultura Lima deshabitó la ciudadela de Cajamarquilla durante el Horizonte Medio (600 – 1000 d.C), predominando un período de abandono. Se tiene como teoría que, un drástico cambio climático habría producido un exceso de lluvias que causó aluviones que destruyeron los canales y reservorios que alimentaron de agua a Cajamarquilla seguidos de un período seco; lo que, finalmente obligó al abandono del lugar (Tavera L., s.f).

Durante el Intermedio Tardío, se produce un renacimiento de la ciudadela de Cajamarquilla por los Ychmas (Mogrovejo y Makowski 1999), ligado posiblemente, a un período húmedo del clima, que habría traído de nuevo agua por la quebrada Huaycoloro, permitiendo el segundo momento de vida de la citada ciudadela alrededor del año 1000 d.C (Tavera L., s.f).

La construcción de Cajamarquilla fue edificada íntegramente por muros de tierra con dimensiones más anchas en la parte baja (hasta 3 m) y más delgadas en la par-

te alta por razones de estabilidad y posiblemente, como protección ante las crecidas del caudal del Huaycoloro (Ministerio de Cultura, 2013).

A pesar de haber sido un centro importante, no se cuenta con crónicas o documentos de funcionarios españoles que detallen el fin y abandono de la ciudadela. Se deduce que, a la llegada de los españoles, Cajamarquilla ya estaba deshabitada (Tavera L., s.f).

Posteriormente, en el siglo XVIII, Cajamarquilla junto a Nievería y Jicamarca constituyeron un fundo, cuya actividad económica principal era la siembra y cosecha de algodón. Los primeros pobladores y, a su vez, trabajadores del citado fundo, fueron inmigrantes de la sierra del país (Ayacucho y Huancavelica).

En la época de la reforma agraria (1975), el 70% del citado fundo pasa a posesión de los trabajadores que diversifican el uso de estas tierras al establecimiento de granjas (Cajamarquilla) y la producción de ladrillos (Nievería). Éste último, tuvo un auge comercial en las décadas de los años 1980 – 90.

Cabe indicar que, en el período de la post-reforma agraria, nacen las primeras asociaciones de vivienda, producto de las agrupaciones entre los poseedores citados. Una de ellas es la Asociación Hacienda Nievería (OSEL, 2008); luego, con la venta de terrenos empiezan a aparecer los demás sectores urbanos tales como El Ayllu, Jardines de la Florida, Riberas de Cajamarquilla, Saracoto, Villa Florida, Residencial Cajamarquilla, Lotización Cajamarquilla, Los Claveles y Milenium. Estos nueve lugares mencionados serán materia de investigación en los siguientes capítulos.

4.2 Vulnerabilidad social, económica y ambiental

La vulnerabilidad según el SINAGERD (2011), se define como la susceptibilidad de la población la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro.

Existen distintos tipos de vulnerabilidad como los que se mencionan a continuación: física, económica, social, ambiental, ideológica, entre otros, los cuales son analizados mediante la evaluación de las condiciones existentes de los factores de exposición, fragilidad y resiliencia (SINAGERD, 2011). Los resultados obtenidos son clasificados en niveles de predisposición al peligro, los cuales pueden ser baja, media, alta y muy alta (Tabla N°1).

Tabla N° 1. Niveles de Vulnerabilidad.

NIVEL	RANGO
Vulnerabilidad Muy Alta	0.260 < R < 0.503
Vulnerabilidad Alta	0.134 < R < 0.260
Vulnerabilidad Media	0.068 < R < 0.134
Vulnerabilidad Baja	0.035 < R < 0.068

Fuente: Modificado de CENEPRED (2014)

Los nueve sectores urbanos pertenecientes al centro poblado de Cajamarquilla, cuyos niveles de vulnerabilidad social, económica y ambiental serán estimados, presentan las siguientes características: (Tabla N° 2)

Tabla N° 2. Población total y viviendas evaluadas.

Sector	N° de viviendas	Población
El Ayllu	66	332
Jardines de la Florida	30	151
Riberas de Cajamarquilla	36	181
Saracoto	142	714
Villa Florida	10	500
Residencial Cajamarquilla	33	166
Lotización Cajamarquilla	81	731
Los Claveles	31	249
Milenium	9	54
	438	3078

Fuente: Alarcón (2012).

La información recopilada de la inspección de campo, realizada en el área de estudio, fue analizada cualitativa y cuantitativamente con la metodología de evaluación de la vulnerabilidad del manual de CENEPRED. Se concluyeron los siguientes resultados:

4.3 Vulnerabilidad social

Wilches-Chaux (1989) lo define como el nivel de cohesión interna que posee una comunidad, esta cohesión se expresa en las formas de organización de la sociedad. CENEPRED (2014) indica que, para estimar el nivel de vulnerabilidad social, se determina primero la población expuesta dentro del área de influencia del peligro de origen natural, identificando la población vulnerable y no vulnerable para, posteriormente, incorporar el análisis de la fragilidad social y resiliencia social en la población vulnerable. Los parámetros de evaluación utilizados fueron los siguientes: (Figura N° 11)

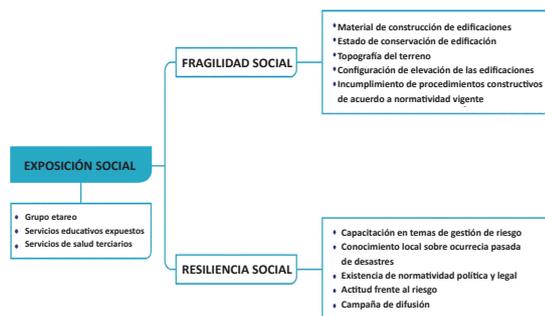


Figura N° 11. Parámetros de evaluación de la Vulnerabilidad Social

Fuente: CENEPRED (2014)

A partir de un proceso de análisis jerárquico, se establecieron valores y/o pesos numéricos a cada parámetro de evaluación citado en la Figura N° 11, los cuales fueron luego ponderados para obtener un solo valor que representa cuantitativamente el nivel de vulnerabilidad social (Tabla N° 3).

Tabla N° 3. Valor de la Vulnerabilidad Social

Exposición Social	Peso	Fragilidad Social	Peso	Resiliencia Social	Peso	Valor
0.061	0.633	0.083	0.106	0.260	0.260	0.115

El nivel de vulnerabilidad social de los nueve sectores urbanos que conforman el centro poblado de Cajamarquilla es medio. Se concluyó el resultado a partir de la comparación del valor obtenido en la Tabla N° 3 con los niveles de vulnerabilidad citados en la Tabla N° 1.

El nivel de vulnerabilidad social media (0.115) representa un centro educativo con ubicación próximo al cauce de la quebrada Jicamarca, viviendas de dos pisos constituidas por paredes de ladrillo y pisos cementados con buen estado de conservación. Asimismo, predomina una población joven (15 – 30 años) no capacitada en temas de gestión de riesgo y ausencia de campañas de prevención en los medios de comunicación local.

4.4 Vulnerabilidad económica

Wilches-Chaux (1989) lo expresa como la relación directa entre la pobreza de la comunidad y el riesgo: a mayor vulnerabilidad económica, la capacidad de recuperación, luego del desastre, es muy lenta. CENEPRED (2014) indica que, para la estimación del nivel de vulnerabilidad económica se determinan las actividades económicas e infraestructura expuesta dentro del área de influencia del peligro de origen natural e identifican los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables, para posteriormente, incorporar el análisis de la fragilidad económica y resiliencia económica. Los parámetros de evaluación utilizados fueron los siguientes: (Figura N° 12)

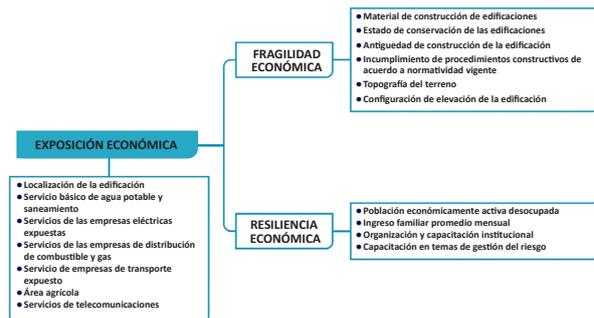


Figura N° 12. Parámetros de evaluación de la Vulnerabilidad Económica

Fuente: CENEPRED (2014).

A partir de un proceso de análisis jerárquico, se establecieron valores y/o pesos numéricos a cada parámetro de evaluación citado en la Figura N° 12, los cuales fueron luego ponderados para obtener un solo valor que representa cuantitativamente el nivel de vulnerabilidad económica (Tabla N° 4).

Tabla N° 4. Valor de la Vulnerabilidad Económica

Exposición Económica	Peso	Fragilidad Económica	Peso	Resiliencia Económica	Peso	Valor
0.227	0.633	0.309	0.106	0.229	0.260	0.236

El nivel de vulnerabilidad económica de los nueve sectores urbanos que conforman el centro poblado de Cajamarquilla es alto. Se concluyó el resultado a partir de la comparación del valor obtenido en la Tabla N° 3 con los niveles de vulnerabilidad citados en la Tabla N°1.

El nivel de vulnerabilidad económica alta (0.236) representa la localización muy cercana (<200 m) de los huertos para la crianza de porcinos y áreas agrícolas al cauce de la quebrada Jicamarca. Según la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA, 2002), la población de porcinos en el área de estudio fue de 4500. La crianza de estos animales se suscita de manera informal, generándose un foco de infección y contaminación grave al ambiente y la salud pública, ya que las heces fecales tienen carga parasitaria y bacteriana, atraen a las moscas, las cuales son portadoras de un sin número de enfermedades que van a afectar directamente al ser humano.

Asimismo, las viviendas no cuentan con el servicio de agua potable y desagüe y eso ocasiona la propagación de enfermedades infectocontagiosas.

Cabe indicar que, los huertos citados construidos de manera informal están constituidos por maderas en muy mal estado de conservación y una antigüedad de más de 10 años.

Respecto a la población económicamente activa, el acceso y permanencia a un puesto de trabajo es regular con ingresos familiares mayores a los S/.1200. Se recalca que, dichos puestos de trabajo se localizan fuera del distrito, lo que ocasiona una menor concentración poblacional de los nueve sectores en horarios diurnos.

4.5 Vulnerabilidad ambiental

Resulta de la relación entre las formas y condiciones de habitar con el cambio en un espacio biofísico. CENEPRED (2014) indica que, para la estimación del nivel de vulnerabilidad ambiental se determinan los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del peligro de origen natural, lo cual identifica los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, para, posteriormente, incorporar el análisis de la fragilidad ambiental y resiliencia ambiental. Los parámetros de evaluación utilizados fueron los siguientes: (Figura N° 13)

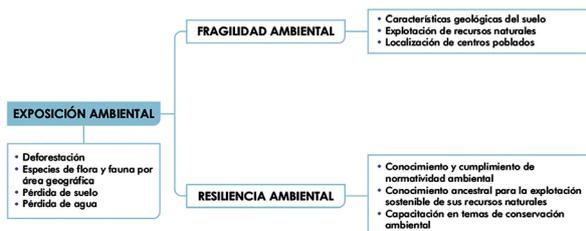


Figura N° 13. Parámetros de evaluación de la Vulnerabilidad Ambiental

Fuente: CENEPRED (2014)

A partir de un proceso de análisis jerárquico, se establecieron valores y/o pesos numéricos a cada parámetro de evaluación citado en la Figura N° 13, los cuales fueron luego, ponderados para obtener un solo valor que representa cuantitativamente el nivel de vulnerabilidad ambiental (Tabla N° 5).

Tabla N° 5. Valor de la Vulnerabilidad Ambiental

Exposición Ambiental	Peso	Fragilidad Ambiental	Peso	Resiliencia Ambiental	Peso	Valor
0.403	0.633	0.229	0.106	0.260	0.260	0.347

El nivel de vulnerabilidad ambiental de los nueve sectores urbanos que conforman el centro poblado de Cajamarquilla es muy alto. Se concluyó el resultado a partir de la comparación del valor obtenido en la Tabla N° 5 con los niveles de vulnerabilidad citados en la Figura N° 05.

El nivel de vulnerabilidad ambiental muy alto (0.347) representa un área eriaza con una alta expansión urbana, cauce de la quebrada desprovista de vegetación y fuentes de aguas superficiales destinadas solo para los campos de cultivo expuestas a la contaminación por parte de la población. Asimismo, se observó el incumplimiento de normativas ambientales por parte de las autoridades y la población, a causa de la falta de capacitación y difusión en los medios de comunicación local sobre temas de conservación ambiental.

V. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A FLUJOS

Dado los daños y efectos destructivos que causan los flujos (huaycos), se propuso iniciar el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana de Detección de huaycos (SATH), que inicialmente detecta la llegada de un flujo en base a instrumentación desplegada en los cauces de las quebradas Jicamarca y Río Seco; para luego, en base a la información obtenida, prevenir a las autoridades competentes para que tomen las medidas correspondientes y así evitar el menor impacto posible.

5.1 Implementación del SAT

Para la implementación del sistema se han considerado varias tareas desarrolladas en forma secuencial. Una de las más importantes fue la de recolectar información relacionada al suministro de energía autónoma para el sistema y la creación del entorno web desde donde se accede a la información. Se realizaron pruebas de laboratorio para luego instalar todos los equipos en campo (cerca de los cauces de Río Seco y Huaycoloro). Además, se recolectó en tiempo real información de los sensores instalados en campo (nivel, crucetas, cámara ip), por último, se hicieron pruebas de envío de mensajes de alerta a correos electrónicos, previamente configurados, ante la presencia de un evento aluvional (huayco).

5.1.1 Instalar en campo los equipos (puntos de control, red inalámbrica, etc.)

Respecto a la instalación de los equipos del sistema, se consideraron dos puntos de monitoreo, uno ubicado cerca al cauce de la quebrada Río Seco y Huaycoloro, tal como se muestra en la Figura N° 14.



Figura N° 14. Esquema de instalación de los equipos

En el cauce de la quebrada Huaycoloro se están considerando instalar los siguientes equipos: sensor de ultrasonidos, crucetas, cámara ip, paneles solares, batería, y equipos de comunicación como antenas routers y switches.

5.1.2 Desarrollar la interfaz de alerta (plataforma web, circuito de alarma)

En esta etapa se diseñó la plataforma web con varias interfaces; en la principal, se monitorea en tiempo real el estado de los sensores de ultrasonido y crucetas ubicados en las quebradas (Figura 15). La interfaz de historial nos permite observar los eventos día a día.

En la interfaz de video y fotografía, se puede observar mediante la cámara ip instalada en el cauce de la quebrada Huaycoloro los eventos en tiempo real.

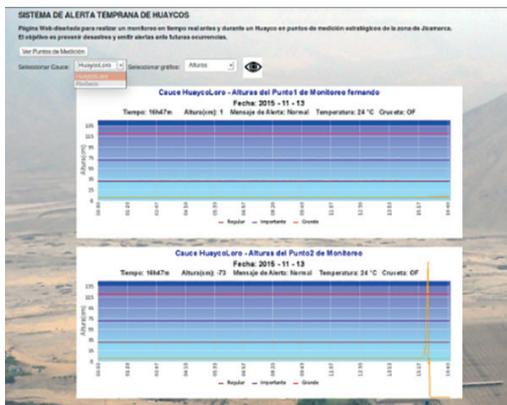


Figura N° 15. Monitoreo en tiempo real de SAT

VI. CONCLUSIONES

1. La geología del valle de Jicamarca está conformada por El Batolito de la Costa y cubre el 70% de la zona de estudio, siendo la principal fuente de materiales de aportes a los flujos y conos aluviales.
2. Los depósitos Cuaternarios están conformados, principalmente, por materiales aluviales antiguos, de edad Pleistocena, probablemente se extienden en profundidad, siendo solo visible en superficie con espesores de hasta 12 m.
3. Geomorfológicamente, la zona de estudio está dominada por montañas de hasta 2100 m de altitud, a partir de los 1600 m.s.n.m se emplazan los grandes abanicos aluviales que proporcionan el mayor porcentaje de clastos, bloques y sedimentos a los cauces tributarios de la quebrada Jicamarca (1 023 495 m³).
4. Los eventos de geodinámica superficial que se desarrollan en la quebrada Jicamarca son los flujos de detritos que forman los grandes abanicos aluviales cartografiados a lo largo de la quebrada que alcanza hasta 150 000 m³, los flujos de lodo son eventos, relativamente, más recientes, por lo que alcanza espesores de hasta 12 m.
5. Según las observaciones realizadas en campo, los 3 depósitos encontrados en la quebrada Huaycoloro representarían a 3 pulsos o frentes de onda: el pulso 1 es en mayor porcentaje lodo conformado por materiales finos y escasa o nula presencia de granulares (gravillas o gravas) y los pulsos 2 y 3 tienen mayor porcentaje de gravas y gravillas angulosas, pero, probablemente, este último alcanzó hasta 12 m de altura.
6. A partir de crónicas que describen el primer asentamiento poblacional en la quebrada Jicamarca (ciudadela de Cajamarquilla), se concluye que ocurrió un drástico cambio climático acompañado de intensas lluvias, lo que causó aluviones que destruyeron los canales y reservorios que alimentaron de agua a la población, seguido de un período seco, lo que, finalmente, obligó al abandono del lugar.
7. El nivel de vulnerabilidad social del centro poblado de Cajamarquilla es media, que expresa viviendas en buen estado de conservación, pero con una población joven predominante (15 – 30 años) que no se encuentra capacitada en temas de gestión de riesgo.
8. El nivel de vulnerabilidad económica es alta, debido a que la población se localiza cerca a los cursos de los flujos (< 200 m), en estas áreas se desarrollan las actividades económicas reconocidas en Cajamarquilla (crianza informal de porcinos y agricultura), además de las industrias manufactureras establecidas en este lugar. Respecto a la actividad pecuaria, esta se encuentra establecida en infraestructuras con muy mal estado de conservación, y la carencia de agua potable y desagüe.
9. El nivel de vulnerabilidad ambiental es muy alta que expresa el incumplimiento de las normativas ambientales por parte de la población, representado en la contaminación de las aguas superficiales destinadas solo a los campos de cultivo, reducción del

cauce de la quebrada Jicamarca por rellenos de origen antrópico y focos de infección grave al ambiente por la crianza informal de porcinos.

10. Se consideraron dos puntos de monitoreo ubicados en las quebradas Huaycoloro y Río Seco. Los dispositivos son: sensores ultrasonidos, crucetas y cámara IP en Huaycoloro; en la quebrada Río Seco se consideró colocar crucetas y un acelerómetro.
11. La interfaz de web es vital para monitorear en tiempo real, la ocurrencia de un evento aluviónico con los datos enviados desde los dispositivos instalados, las pruebas han sido satisfactorias. Para el sistema de alerta, se consideró la de tipo sonora (bocinas-altavoces) y mediante mensajes de correo a personal responsable ante la ocurrencia de eventos aluvionales.

VII. AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad Innóvate Perú, por los fondos asignados al proyecto 384-PNICP-PIAP-2014.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alarcón, T. V. (2012). Resumen ejecutivo: Esquema Cajamarquilla, Nievería y Cerro Camote - Ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 129, 130, 131, 132, 133, 134 y 135 - Distrito de Lurigancho y San Antonio de Huarochirí. Lima.
2. Canziani, A. J. (2009). Ciudad y Territorio en los Andes. Lima. Segunda edición, pp 390 – 392.
3. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales. Lima, 120 – 144 pp.
4. Cruden, D. M. (1991). A Simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 27 – 29 pp.
5. Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (2012). Vigilancia y control de crianzas informales de ganado porcino. Recuperado de <http://www.limaeste.gob.pe/limaeste/direcciones/desa/InformacionTecnica>
6. Gutierrez, M. (2008) - Geomorfología, Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.
7. Hutchinson, J. N. (1968). Mass Movement. In the Encyclopedia of Geomorphology. New York: Reinhold Book Corp. 668-696p.
8. Hutchinson, J. N. (1988). General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides. Rotterdam: Bonnard, 3-35 pp.
9. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007). Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>
10. Mogrovejo, J. & Makowsky, C. (1999). Cajamarquilla y los Meganiños en el pasado Prehispánico. Lima, pp 46 – 57.
11. Ministerio de Cultura (2013). Cajamarquilla, centro de interpretación. Lima, pp 7 – 14.
12. Observatorio Socio Económico Laboral de Lima Norte (2008). Diagnóstico Situacional y Ejes de Desarrollo de Cajamarquilla, Jicamarca y Nievería: La pobreza como factor de desarrollo en áreas Peri-Urbanas de Lima Metropolitana. Lima.
13. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (2011). Reglamento de la Ley N° 29664. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-no-29664-sistema-nacional-gestion-riesgo-desastres>.
14. Tavera, L. (s.f.). Cajamarquilla. Recuperado de <http://www.arqueologiadelperu.com.ar/cajamarquilla.htm>
15. Varnes, D.J. (1958). Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS NRC Publication 544, Washington, D.C., 20 – 47p.
16. Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, 9-33p.
17. Wilches-Chaux, G. (1989). Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la Crisis. Popayán - Colombia.

