



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



Programa Presupuestal 144: "Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos"

# ECOSISTEMA DE PÁRAMO ANDINO: **CUENCA DEL RÍO RONQUILLO**

INFORME TÉCNICO ESPECIAL





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



Programa Presupuestal 144: "Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos"

# ECOSISTEMA DE PÁRAMO ANDINO: **CUENCA DEL RÍO RONQUILLO**

INFORME TÉCNICO ESPECIAL



# Créditos

Ecosistema de páramo andino: Cuenca del río  
Ronquillo  
Informe técnico especial

**Fabiola Muñoz**  
Ministra del Ambiente

**Hernando Tavera**  
Presidente Ejecutivo IGP

**Danny Scipión**  
Director Científico IGP

**Yamina Silva**  
Directora Sudirección de Geofísica y Sociedad

**Editores:** Romel Príncipe y Yamina Silva  
**Diseño y Diagramación:** Luis Miguel Ybañez

**Carátula:** Vista de la laguna Mataracocha - Centro  
Poblado Chamis  
**Foto:** Romel Príncipe

**Editado por:**  
Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169 Mayorazgo  
IV Etapa - Ate  
Teléfono (511) 3172300  
**Tiraje:** 300 ejemplares

Lima, diciembre de 2019

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional  
del Perú N° 2019 - 17031  
ISBN: 978-612-47606-7-9

**Impreso por:**  
INVERSIONES IAKOB S.A.C.  
Av. Iquitos 1481 - La Victoria  
Telef: (+51 1) 296 3911



# Contenido

- Introducción **11**
- Caracterización general de la cuenca del río Ronquillo. **13**
- Rol del páramo andino en la regulación del recurso hídrico en la cuenca del río Ronquillo **23**  
*Jhon Orrillo, Sergio Morera y Diana Díaz*
- Erosión hídrica y transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo **35**  
*Michael Sánchez y Sergio Morera*
- Estudio del transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo **47**  
*Diana Díaz, Sergio Morera y Jhon Orrillo*
- Los deslizamientos y ecosistemas **63**  
*Romel Príncipe, Marco Mattos y Juan Gómez*
- Análisis de capacidad y vulnerabilidad climática en la cuenca del río Ronquillo **63**  
*Diana Ruiz y Alejandra Martínez*

# Acrónimos

<b>GORE</b>	Gobierno Regional
<b>IGP</b>	Instituto Geofísico del Perú
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>SEDAJAJ</b>	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Cajamarca
<b>BFI</b>	Base Flow index
<b>CVCA</b>	Climate Vulnerabilidad And Capacity Analysis
<b>INDECI</b>	Instituto Nacional de Defensa Civil
<b>FONGAL</b>	Fondo Nacional de Ganadería Lechera
<b>RUSLE</b>	Revised Universal Soil Loss Equation

# Introducción

El Programa Presupuestal 144 tiene como objetivo lograr la conservación y uso sostenible de los ecosistemas naturales del país proveedores de servicios ecosistémicos, en ese marco, el Instituto Geofísico del Perú genera información geofísica y socioeconómica base que pueda ser utilizada para el ordenamiento territorial, la conservación y la recuperación de las especies y servicios ecosistémicos.

El IGP en el marco del Programa Presupuestal 0144 viene trabajando en el departamento de Cajamarca, específicamente en la cuenca del río Ronquillo.

En el presente volumen se incluye información sobre el rol del páramo en la regulación de los recursos hídricos, transporte de sedimentos y erosión hídrica. También, se realiza el análisis multitemporal mediante percepción remota de los eventos de deslizamiento en Urubamba y Corisorgona que afectan al ecosistema de matorral andino y a las actividades productivas del lugar. Finalmente, se realiza un breve análisis de la capacidad y vulnerabilidad climática en las comunidades asentadas en la cuenca del río Ronquillo.

*Instituto Geofísico del Perú*



*Vista panorámica de la ciudad de Cajamarca.*

# Caracterización general de la cuenca del río Ronquillo

## UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

La cuenca del río Ronquillo se ubica políticamente en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca (Figura 1). Geográficamente está localizado en la cordillera occidental de los Andes, al norte de Perú y corresponde a la cuenca hidrográfica del río Crisnejas, gran cuenca del río Marañón y vertiente del Atlántico.

La cuenca del río Ronquillo tiene una superficie de 42 km<sup>2</sup> aproximadamente (Krois y Schulte,

2014), además tiene una cota máxima de 3 986 msnm y una cota mínima de 2 835 msnm (Díaz, 2018).

## ACCESIBILIDAD

Considerando como punto de partida la ciudad de Cajamarca (plaza de armas) se recorre 1.5 km aproximadamente de vía asfaltada en dirección oeste de la ciudad,

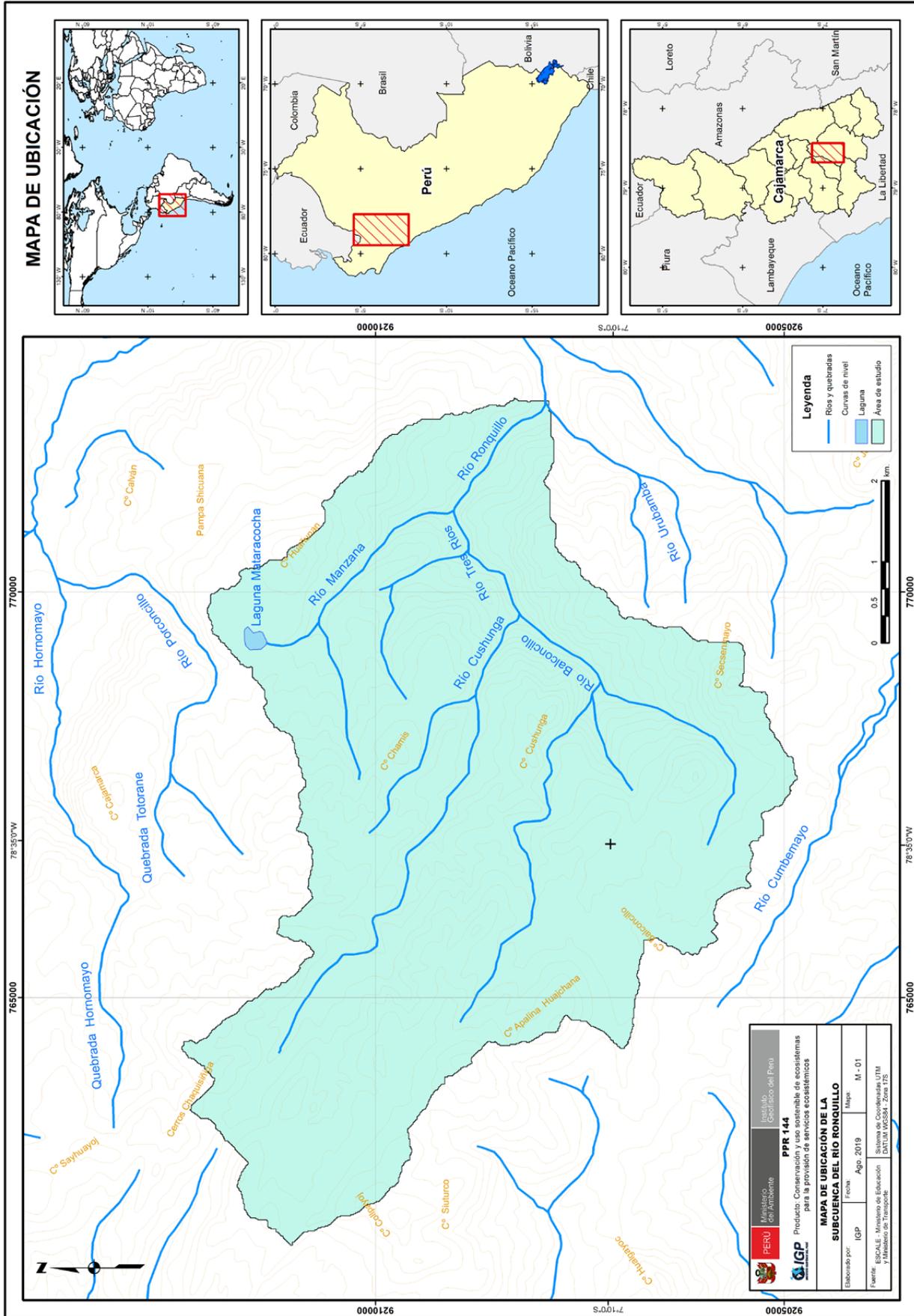


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

posteriormente se continúa por una vía afirmada de 1 km aproximadamente hasta ingresar a la cuenca, a partir del cual se continúa por vías sin asfaltar.

## CLIMA

El clima en la cuenca, considerando el periodo 1968 - 2015, tiene una temperatura máxima anual promedio de 23.8°C y mínima anual de 2 °C. La precipitación promedio anual es de 835.4 mm (Rodríguez, 2016).

Correspondiente a la humedad relativa, en época de lluvia generalmente las zonas de Sexemayo, Cushunga y Carhuaquero están cubiertas de neblina a partir de las 3 a 4 de la tarde; no obstante, la humedad relativa es muy baja en época seca, pudiendo ser en algunos casos menos del 30 % y muy alta en época de lluvia, que puede llegar hasta 98 % cuando la neblina es permanente (Cholan, 2013).

## SUELOS

Krois (2014) a partir de la nomenclatura de la base mundial de referencia para la clasificación del suelo (FAO, 2006) sostiene que la cuenca del río Ronquillo consta de seis tipos de suelo: Acrisol (4 %), Regosol (6 %), Phaeozem (8 %), Cambisol (11 %), Leptosol (25 %) y Andosol (46 %). Asimismo, Krois (2014) refiere también que los andosoles se pueden subdividir en andosoles (12 %), páramo-andosoles (28 %) y paramosoles (5 %) (Poma-Rojas y Alcántara-Boñón, 2010), los cuales se diferencian principalmente en su material de roca principal (el páramo-andosol se encuentra sobre depósitos ígneos y sedimentarios, mientras que el paramosol se desarrolla en arenisca, caliza y cuarcita).

Los andosoles se producen en la parte alta occidental de la cuenca y son similares a los suelos denominados "suelos de páramo" (Buytaert et al, 2005a; Cabaneiro et al, 2008) que se caracterizan por su alta capacidad de almacenamiento de agua (Buytaert et al, 2005b; Buytaert et al, 2006; Celleri & Feyen, 2009).

## GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la cuenca del río Ronquillo, según Rodríguez (2016) tiene las siguientes geoformas:

- **Planicies.** Corresponde a una superficie bastante homogénea, poco cambiante en su morfología, ligeramente ondulada, poca erosionada y fácil de manejar para actividades agrícolas y ganaderas. Está afectada por los procesos de erosión pluvial y puede encontrarse en cualquier lugar del área. Superficies con pendientes de 0° a 8° y su utilización es para ganadería y sembríos de productos de pan llevar.
- **Lomadas.** Corresponden a elevaciones que no deben sobrepasar los 150 a 200 metros, con geoformas de tendencia cómica, pequeñas elevaciones, homogéneas y pendientes suaves entre 8° y 20°. Sirven parcialmente como terrenos de pastoreo, agricultura y ganadería.
- **Laderas.** Corresponden a superficies inclinadas con promedios de 200 a 300 metros de altura (base-tope), pendientes en el intervalo de 20° a 50° y pueden afectar a cualquier tipo de litología.
- **Escarpas.** Corresponden a un fuerte desnivel entre dos puntos o dos superficies no necesariamente planas, por ejemplo, geoformas dentro de ambientes geoestructurales que han sido modificados por los procesos geomorfológicos y tienen siempre diversas formas como, alargadas, cómicas, pendientes suaves en sus topes y pisos, erosionados por los ríos y demás agentes modeladores; con fuertes pendientes (mayor de 50°).

## GEOLOGÍA

Según el estudio realizado por Vásquez y Rodríguez (2011), la geología de la cuenca está conformada por las siguientes formaciones:

- Formación Farrat (Ki- f)

- Formación Inca (Ki – in)
- Formación Chulec (Ki – chu)
- Formación Pariatambo (Ki – pa)
- Formación Yumagual (Ks – yu)
- Formación Quilquiñan - Mujarrum (Ks – qm)
- Formación Cajamarca (Ks – ca)
- Volcánico San Pablo (Po- vsp)
- Volcánico Huambos (Nm- vh)

## RED HIDROGRÁFICA

La cuenca Ronquillo presenta una red hídrica de orden 3, formada por cauces de alta montaña los cuales están supeditados al régimen de lluvias en la cuenca (Orillo, 2018).

A partir de Díaz (2018) y Orillo (2018) se sostiene que la unión de los ríos Balconcillo, Cushunga y Manzana forman el río Tres Ríos, el cual pierde su nombre aguas abajo, adoptando el nombre de río Ronquillo. Además, sobre los 3 000 msnm se identifica una laguna llamada Mataracocha.

El río Balconcillo se forma después de recibir los aportes de la quebrada Conga. El río Cushunga se origina de la unión de las quebradas Portachuelo y Poroporo, y corriente abajo recibe los aportes de Garbanzo Pampa y Sacchayoc (Inrena, 2007).

El río Manzana se forma de la confluencia de las quebradas Choro Mayo y Carhuacasha Corral Blanco (Inrena, 2007).

## VEGETACIÓN

La vegetación se ubica mayormente en las zonas de planicies y lomadas, constituidas por eucaliptos, arbustos de tallo corto y en las partes de valle y lomadas se tienen sembríos

de pan llevar como maíz, papas, alfalfa; las cuales se desarrollan en época de lluvias (Rodríguez, 2016).

## REFERENCIAS

Buytaert, W., Sevink, J., De Leeuw, B., & Deckers, J. (2005a). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, 127(1-2), 114-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.021>.

Buytaert, W., Wyseure, G., De Bievre, B., & Deckers, J. (2005b). The effect of land-use changes on the hydrological behavior of histic andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*. 19. 3985 - 3997. doi: 10.1002/hyp.5867.

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., et al. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>.

Cabaneiro, A., Fernandez, I., Pérez-Ventura, L., & Carballas, T. (2008). Soil CO<sub>2</sub> emissions from Northern Andean Paramo ecosystems: Effects of fallow agriculture. *Environmental Science & Technology*, 42(5), 1408-1415. doi: 10.1021/es071392d.

Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical Andean ecosystems: importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355. doi: <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>

Cholan, O. (2013). *Potencialidades, limitantes institucionales y comunales para la gestión social del agua, microcuenca San Lucas - distrito de Cajamarca, 2009-2010* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2045>

Díaz, D. (2018). *Estudio de transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2037>

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2006). *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*. World soil resources reports N° 103. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Instituto Nacional de Recursos Naturales - Inrena. (2007). *Inventario de fuentes de agua superficial de la cuenca del Mashcon*. Administración Técnica del Distrito de Riego Cajamarca. Recuperado de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fuentes\\_agua\\_superficial\\_mashcon\\_0\\_0\\_3.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fuentes_agua_superficial_mashcon_0_0_3.pdf)

Krois, J. y Schulte, A. (2014). GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography*, 51. 131-142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.006>.

Orillo, J. (2018). *Caracterización del rol del páramo andino en la regulación del recurso hídrico en la cuenca Ronquillo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2033>

Poma-Rojas, W., y Alcántara-Boñón, G. H. (2010). *Estudio de suelos con fines de Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento territorial de la región Cajamarca*. Cajamarca: Gobierno Regional Cajamarca.

Rodríguez, R. (2016). *Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos: Zona Ronquillo - Corisorgona, Cajamarca - Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5617>

Vásquez, G., y Rodríguez, M. (2011). *Estudio de geología*. Gobierno Regional de Cajamarca. Recuperado de: [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria\\_Descriptiva\\_Geologia.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria_Descriptiva_Geologia.pdf)



*Vista del ecosistema de Páramo en la localidad de Majadapampa.*

# Rol del páramo andino en la regulación del recurso hídrico en la cuenca río Ronquillo

Jhon Orrillo<sup>1,2\*</sup>, Sergio Morera<sup>1</sup>, y Diana Díaz<sup>1,2</sup>

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas con un alto potencial para la regulación del recurso hídrico, de esta manera sus suelos logran retener agua en época de lluvias, para luego dejarlas fluir en meses sin precipitación; por otro lado, los suelos característicos de los páramos, son altamente vulnerables a las

actividades antrópicas los cuales pueden ser afectados de manera irreversible.

La cuenca del río Ronquillo tiene gran relevancia hídrica, ya que proporciona el 30 % del agua potable para la ciudad de Cajamarca<sup>3</sup>. En época de estiaje experimenta una marcada

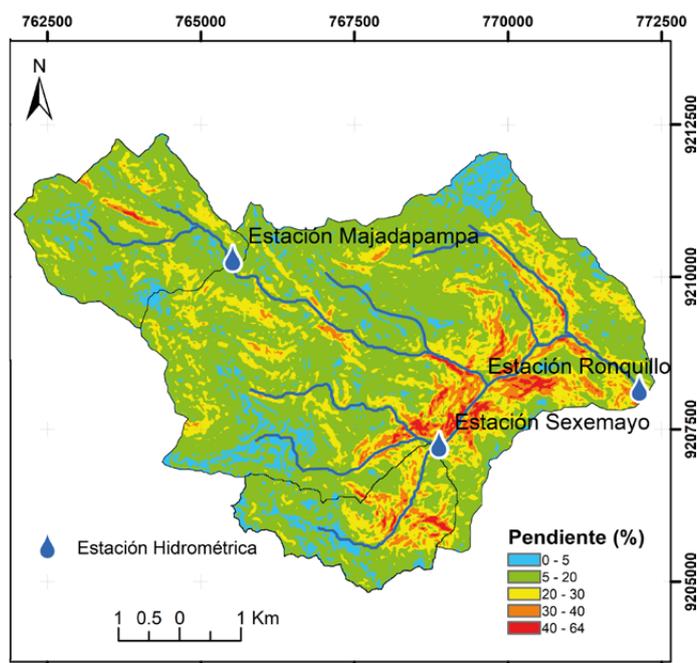
<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú; \* jorrillo@igp.gob.pe.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

<sup>3</sup> A partir de Empresa Prestadora de Servicio de Servicio de Saneamiento S.A. Cajamarca. (EPS SEDACAJ S.A.).

escasez del recurso hídrico que se agudiza en los meses de agosto a septiembre, esta problemática afecta a la población que habita dentro de la cuenca, así como, a la población de la ciudad de Cajamarca. En tanto, el

objetivo de la presente investigación fue cuantificar la influencia del páramo andino en la regulación del recurso hídrico en la cuenca del río Ronquillo para su puesta en valor.



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca del río Ronquillo.

Para cuantificar la influencia del páramo andino, se separó el hidrograma de caudal para estimar el Índice de Flujo Base (BFI, por sus siglas en inglés), que es la relación entre el volumen de caudal base y el volumen de caudal total. Estas estimaciones se realizaron en la cuenca del río Ronquillo y en dos subcuencas con presencia de suelo páramo, como son: Sexemayo y Majadapampa (Figura 1). Los valores obtenidos de BFI demuestran que la microcuenca Sexemayo presenta un mayor índice de flujo base igual a 0.72, seguido de la microcuenca de Majadapampa con 0.68 y un valor menor para la cuenca Ronquillo con 0.50. La microcuenca Majadapampa presenta un área de suelo páramo de 4.5 km<sup>2</sup>, muy parecido a Sexemayo con 4.4 km<sup>2</sup>, pero el efecto como regulador del recurso hídrico es más evidente en la microcuenca Sexemayo.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación se resume en la Figura 2, iniciando con la recolección de los datos (1), pasando luego a una etapa

de procesamiento (2) que involucra separar el caudal base con las diferentes metodologías existentes, luego se continúa con el proceso de calibración (3) para intentar que nuestras metodologías se asemejen a la realidad, y finalmente se realiza el análisis de los resultados (4).

Se utilizaron caudales estimados obtenidos a partir de los niveles registrados cada 5 minutos de las estaciones de Majadapampa y Sexemayo (Figura 1) entre los años 2016 y 2017, y entre 2008 y 2017 para la cuenca Ronquillo. Se realizó la separación de caudal base del caudal total, utilizando ocho métodos de separación. Estos métodos están agrupados en métodos gráficos o también llamados de filtrado y los métodos de filtros digitales. Posteriormente, luego de realizar la separación del caudal base, se eligieron los métodos más consistentes para realizar su calibración<sup>4</sup>, siendo los métodos seleccionados, los métodos de filtros digitales.

<sup>4</sup> Para indicar la consistencia se basa en unos test que se realiza en una etapa inicial.

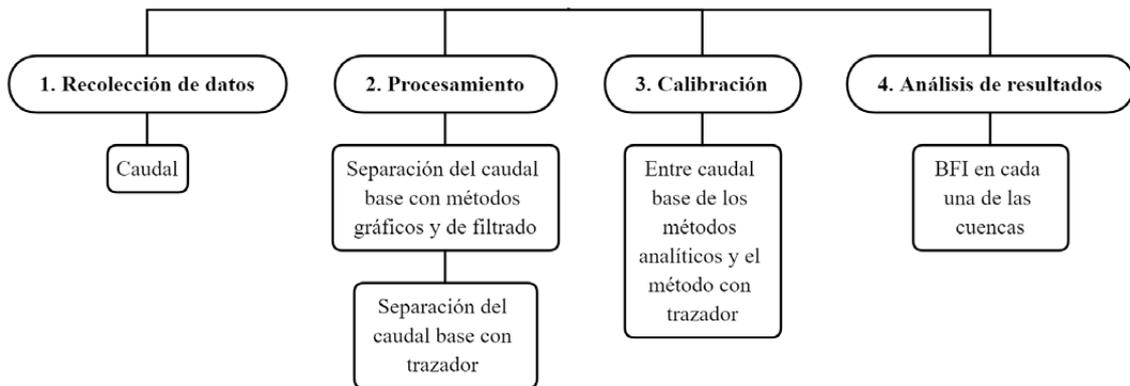


Figura 2. Esquema de la metodología

A continuación, para la calibración se utilizó la raíz de la desviación cuadrática media (RMSD) para toda la serie de datos y otra únicamente para el periodo de estiaje (RMSD Q). Esta información sirvió para calcular el índice de flujo base (BFI), que es la relación entre el volumen de caudal base y el volumen de caudal total, para la cuenca Ronquillo y microcuencas de Sexemayo y Majadapampa.

Dentro de los dos grupos de métodos utilizados para la separación del caudal base, se tiene:

- Los métodos de filtros digitales, donde se utilizaron el método de Eckhardt (Eckhardt, 2008), métodos de un parámetro

(Chapman, 1999) y el método de Lyne & Hollick (1979); de estos, el método de Eckhardt se adapta mejor al área en estudio.

- Los métodos gráficos (Sloto & Crouse, 1996) que se basan en identificar valores mínimos del hidrograma en un intervalo dado de tiempo (N), donde sobrestiman el caudal base para nuestra zona de estudio.

## RESULTADOS

### Separación del caudal base e Índice de Flujo Base (BFI): Métodos de filtros digitales

#### Cuenca del río Ronquillo

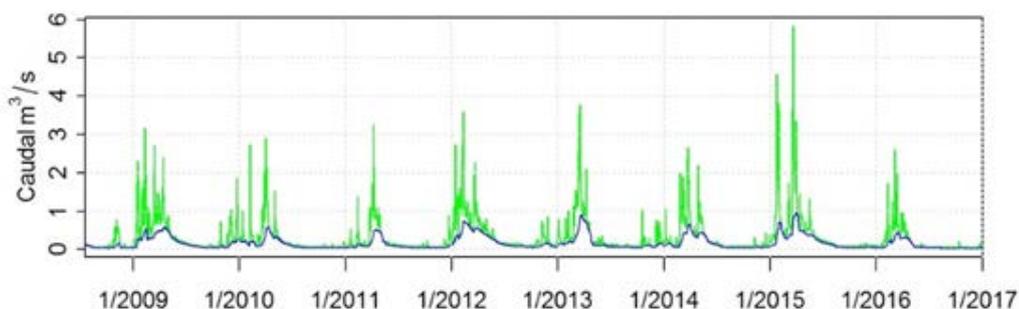


Figura 3. Resultados obtenidos para la cuenca Ronquillo con el método de Eckhardt (BFI<sub>max</sub>=0.56, a=0.977). La línea de color verde representa el caudal total y la línea de color azul el caudal base

Tabla 1. Resultados de valores de índice de flujo base para la estación Ronquillo

MÉTODO	SIN CALIBRACIÓN			CON CALIBRACIÓN		
	BFI	RMSD	RMSD Q	BFI	RMSD	RMSD Q
Lyne y Hollick	0.49	0.018	0.029	0.19	0.013	0.032
Un Parámetro	0.50	0.010	0.035	0.29	0.009	0.036
Eckhardt	0.37	0.015	0.041	0.50	0.009	0.034

El filtro de Eckhardt da un valor de BFI igual a 0.50, con un valor de RMSD = 0.009 m<sup>3</sup>/s y un RMSD Q = 0.034 m<sup>3</sup>/s. Este método

también presenta un valor de RMSD igual al del método de un parámetro, pero el valor de BFI aumenta a 0.50.

### Microcuenca Sexemayo

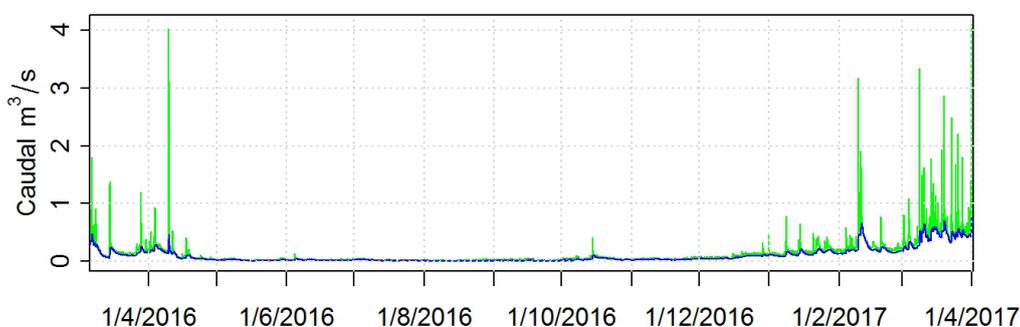


Figura 4. Resultados obtenidos para la microcuenca Sexemayo con el método de Eckhardt (BFI<sub>max</sub>=0.75, a=0.987). La línea de color verde representa el caudal total y la línea de color azul el caudal base.

Tabla 2. Resultados de valores de índice de flujo base para la estación Sexemayo, con calibración y sin calibración

MÉTODO	SIN CALIBRACIÓN			CON CALIBRACIÓN		
	BFI	RMSD	RMSD Q	BFI	RMSD	RMSD Q
Lyne y Hollick	0.74	0.283	0.006	0.69	0.229	0.007
Un Parámetro	0.50	0.143	0.023	0.50	0.140	0.023
Eckhardt	0.46	0.361	0.025	0.72	0.188	0.012

Con el método de Eckhardt se obtiene el valor de índice de flujo base más alto igual a 0.72, este valor y el obtenido con el método de Lyne y Hollick, son cercanos y según

las jornadas de trabajo en campo son los valores que se adaptan mejor a la realidad de la microcuenca, que gran parte de su área cuenta con suelo de páramo.

### Microcuenca Majadapampa

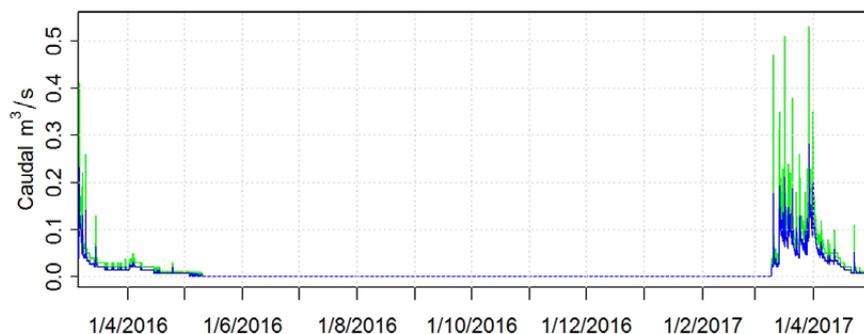


Figura 5. Resultados obtenidos para la microcuenca Majadapampa con el método de Eckhardt ( $BFI_{max}=0.68$ ,  $a=0.76$ ). La línea de color verde representa el caudal total y la línea de color azul el caudal base.

Tabla 3. Resultados de valores de índice de flujo base para la estación Majadapampa.

MÉTODO	SIN CALIBRACIÓN		CON CALIBRACIÓN	
	BFI	RMSD	BFI	RMSD
Lyne y Hollick	0.75	0.110	0.88	0.041
Un Parámetro	0.50	0.068	0.50	0.059
Eckhardt	0.30	0.140	0.68	0.055

Para la estación Majadapampa (Tabla 3), el filtro de Lyne y Hollick calcula un índice de flujo base igual a 0.88, con el RMSD más bajo. Este valor de BFI es un valor muy alto, considerando que es un río con un régimen efímero. Con el filtro de un parámetro se obtiene el valor de índice de flujo base igual a 0.50, con el RMSD más alto.

Aplicando el filtro de Eckhardt, el valor de índice de flujo base es igual a 0.68, con un valor de RMSD igual a  $0.055 \text{ m}^3/\text{s}$ , que es un valor intermedio considerando los dos filtros antes detallados.

### Volumen de caudal base y escorrentía superficial

Luego de realizar la separación del caudal base, se calculó el volumen de la escorrentía superficial y el caudal base. En la cuenca Ronquillo, para los años hidrológicos desde el 2009 al 2016 se puede ver la variación de volumen de agua (escorrentía superficial y caudal base, Figura 6), a partir de esto se sostiene que el año hidrológico 2016 fue el año con menor volumen de agua producido por la cuenca Ronquillo con 6.6 millones de metros cúbicos, mientras que el año hidrológico 2015 obtuvo 15.3 millones de metros cúbicos, siendo el año con mayor producción de volumen de agua.

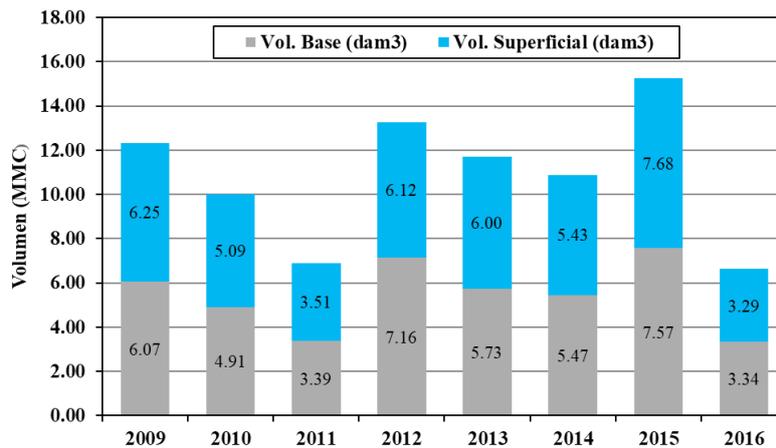


Figura 6: Volumen de caudal base (color gris) y caudal de escorrentía superficial (color celeste), para los años hidrológicos desde el 2009 al 2016

Para las microcuencas Sexemayo y Majadapampa se observa que los volúmenes de agua (Figura 7) en ambas microcuencas se diferencian considerablemente, tanto en el volumen base (a partir del caudal base)

como en el volumen de escorrentía superficial (caudal directo). Pero tanto en la microcuenca Sexemayo como en Majadapampa, el volumen base es mayor que el volumen de la escorrentía superficial.

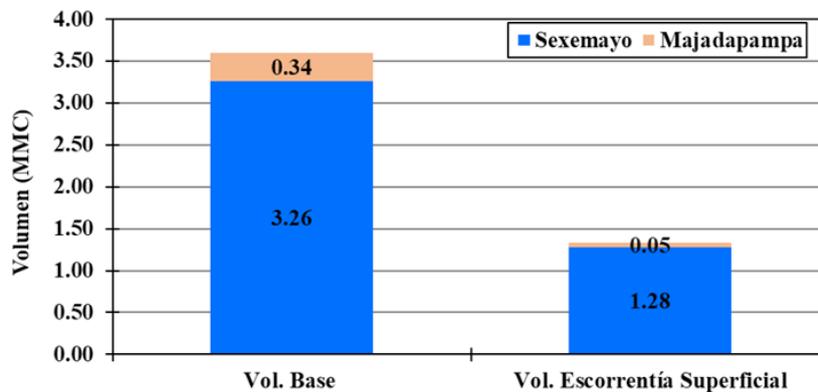


Figura 7: Volúmenes de agua de caudal base para las microcuencas de Sexemayo (color azul) y Majadapampa (color anaranjado).

Según los datos registrados, en cada punto emisor de las microcuencas Sexemayo y Majadapampa, los volúmenes son 4.5 millones m<sup>3</sup> y 3.9 millones m<sup>3</sup> respectivamente, a pesar de que el área de la microcuenca Sexemayo (4.7 km<sup>2</sup>) es más pequeña que el de la microcuenca Majadapampa (6.8 km<sup>2</sup>), ambas presentan diferencias considerables

en cuanto a los volúmenes de agua producido en cada microcuenca, que no son una relación directamente proporcional al área. Esta diferencia podría ser causada por la presencia de roca altamente fracturada en la parte de Majadapampa y por la presencia de una falla geológica paralela al curso del agua.

## CONCLUSIONES

La cuenca Ronquillo presenta un BFI de 0.50, esto es producto de su variada geología y tipos de suelos que van desde andosol, con características buenas para la retención de agua, hasta suelos leptosol con escasa capacidad de retención de humedad. Las microcuencas de Sexemayo y Majadapampa, ambas con predominancia de depósitos de suelo andosol, páramo andosol y paramosol, presentan un BFI igual a 0.72 y 0.68, respectivamente.

Al monitorear la humedad del suelo de tipo andosol/páramo, se identificó que debido a sus características especiales (estructura del suelo y vegetación) permiten que el suelo pierda humedad únicamente en los primeros 25 cm del suelo superficial entre agosto-septiembre (periodo de estiaje); sin embargo, bajo los 75 centímetros se mantiene con alta humedad durante todo el año. Lo anterior permite afirmar la importancia del rol de los páramos en la regulación hídrica, debido a la humedad que alberga en sus suelos e influye directamente sobre el ecosistema en la cual se encuentra.

Al relacionar el BFI con la humedad del suelo, se encontró que a mayor contenido de humedad se tiene mayor valor de BFI.

## REFERENCIAS

Chapman, T. (1999). A comparison of algorithms for streamflow recession and baseflow separation. *Hydrological Processes*, 13, 701-714. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19990415\)13:5<701::AID-HYP774>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19990415)13:5<701::AID-HYP774>3.0.CO;2-2).

Eckhardt, K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 168-173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.005>.

Lyne, V., & Hollick, M. (1979, September). *Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling*. Institute of Engineers Australia National Conference (Vol. 1979, pp. 89-93). Barton, Australia: Institute of Engineers Australia.

Sloto, R. & Crouse, M. (1996). *Hysep: a computer program for streamflow hydrograph separation and analysis*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4040, 54.



Vista de cárcabas en la localidad de Ronquillo.

# Erosión hídrica y transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo

Michael Sánchez<sup>1,2</sup>, y Sergio Morera<sup>2,3</sup>

## INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es una amenaza global que reduce la productividad de todos los ecosistemas (Erkossa et al., 2015) y es el principal agente de deterioro en las estructuras hidráulicas como embalses, puentes y centrales hidroeléctricas (Butt et al., 2011). Morera et al. (2017) señala que los eventos

extremos son los principales responsables en que la carga de sedimentación aumente hasta 60 veces al año.

La erosión hídrica inicia con el gasto de energía de las gotas de lluvia que impactan en las partículas de la superficie del suelo,

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Cajamarca.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina.

<sup>3</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

seguido del transporte por la corriente de flujo generada y la propia gota de la lluvia (Kinnell, 2006). Los sedimentos transportados por la corriente generada, se deben en gran medida a este fenómeno y no es fácil de calcular (Rocha, 2006), motivo por el cual el modelado de la erosión es una herramienta importante para evaluar los procesos que gobiernan este fenómeno con el uso de ecuaciones lógicas (Deviren et al., 2018). Sin embargo, todas las ecuaciones empíricas generadas en condiciones ideales no siempre son válidas para estimar la erosión o la capacidad de transporte de sedimentos (Quansah, 1981). Por esta razón, es importante un primer análisis de factores como la precipitación, la pendiente y la cobertura, que influyen en la dinámica de la capacidad de transporte de sedimentos y su relevancia en la mejora de los modelos de erosión.

Diversos estudios dentro de laboratorios experimentales no tienen en cuenta muchos parámetros y/o variables que interactúan en la erosión y transporte de sedimentos (Chaplot & Le Bissonnais, 2000), es por ello que se llevó a cabo una investigación exhaustiva en

campo para analizar una relación entre las variables más importantes y la capacidad de transporte del suelo mediante parcelas de 1 m<sup>2</sup>. Estas parcelas han sido muy utilizadas por diferentes tipos de investigaciones (Bagarello & Ferro, 2004; Chaplot & Le Bissonnais, 2000; Ribolzi et al., 2011) ya que permiten una cuantificación objetiva de los diferentes usos de la tierra y la influencia de diferentes factores que intervienen en la erosión del suelo (Somarriba et al., 2005).

A partir de lo anterior, objetivos del presente estudio son: i) estimar la capacidad de transporte de sedimentos en las zonas críticas y compararlos con la capacidad de transporte de sedimentos de las áreas no erosionadas en la cuenca del río Ronquillo; ii) determinar la influencia de la precipitación y las características del suelo en la capacidad de transporte de sedimentos.

Asimismo, el estudio se desarrolló sobre la cuenca del río Ronquillo y en la Figura 1 se observa la ubicación de las áreas experimentales: Majadapampa y Ronquillo Alto.

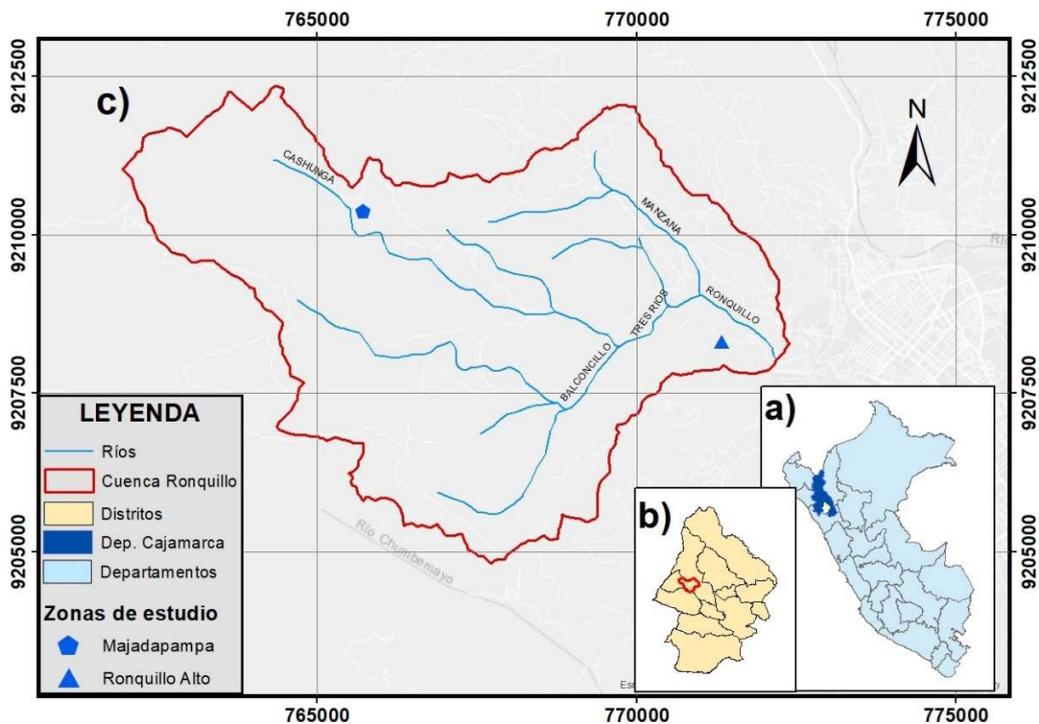


Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales en la cuenca del río Ronquillo.

## METODOLOGÍA

### Preparación de parcelas experimentales

Se reconoció las áreas altamente erosionadas y apenas erosionadas mediante un análisis RUSLE<sup>4</sup> (Renard, 1997), ayuda basada en estudios previos (Furchner, 2010; Krois, 2016; Krois et al., 2013; Krois & Schulte, 2014) y salidas de campo. Posteriormente, se ubicaron dos áreas experimentales: "Majadapampa", apenas erosionada, y "Ronquillo Alto", altamente erosionada. Seguidamente, se instalaron parcelas experimentales de 1 m<sup>2</sup>, cinco en Majadapampa y ocho en Ronquillo

Alto (Tabla 1); estas permitieron cuantificar de manera objetiva la eficiencia de los diferentes usos del suelo y los diferentes factores que intervienen en la erosión (Somarriba et al., 2005).

Se tomaron muestras de sedimento después de cada evento de lluvia, siendo monitoreados por una estación pluviométrica instalada en cada área seleccionada. Luego, se recolectaron los volúmenes de muestra de suelo y se transfirieron en botellas de polietileno para su posterior filtración y análisis de resultados.

<sup>4</sup>RUSLE: Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos.

**Tabla 1.** Resumen de trampas instaladas en las zonas de estudio.

TRAMPA	LUGAR	USO
TM1	Majadapampa	Avena
TM2	Majadapampa	Rumex spp.
TM3	Majadapampa	Olluco
TM4	Majadapampa	Pino
TM5	Majadapampa	Paja
TR1	Ronquillo alto	Desnudo 38°
TR2	Ronquillo alto	Desnudo 22°
TR3	Ronquillo alto	Aliso
TR4	Ronquillo alto	Ciprés
TR5	Ronquillo alto	Cárcava
TR6	Ronquillo alto	Cebada
TR7	Ronquillo alto	Chacra (sin cultivo)
TR8	Ronquillo alto	Pedregoso

## RESULTADOS

Los eventos de precipitación en Majadapampa son más prolongados que en Ronquillo Alto, mientras que las intensidades altas o extremas son más comunes en Ronquillo Alto que en Majadapampa. Además, se registraron 30 y 15 eventos de lluvia para Majadapampa y Ronquillo Alto respectivamente, durante el año 2018.

Se tomaron fotografías para evaluar la evolución del porcentaje de cobertura vegetal de cada parcela. Así en Majadapampa se identificó una mayor presencia de vegetación

que supera el 70 %; y en Ronquillo Alto no supera el 40 % de la cobertura vegetal.

### Transporte de sedimentos finos y gruesos

Para Majadapampa, la capacidad de transporte de sedimentos no excede los 50.0 gr/m<sup>2</sup>/h; incluso la mediana está por debajo de 10 gr/m<sup>2</sup>/h (Figura 2a). Por otra parte, para el área de Ronquillo Alto, los valores de capacidad de transporte son mucho más altos, alcanzando valores de 160.8 gr/m<sup>2</sup>/h (Figura 2b).

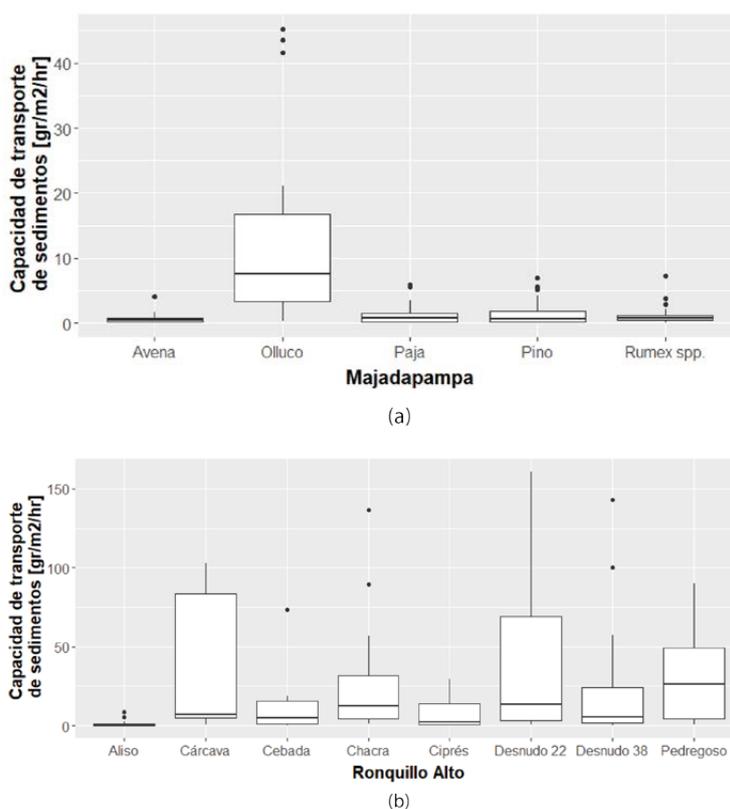


Figura 2. Boxplot de la capacidad de transporte de sedimentos.

Las parcelas que presentan una alta actividad antrópica tienen un mayor transporte de sedimentos finos y las parcelas que no tienen contacto antrópico directo tienen un mayor nivel transporte de sedimentos gruesos. Para Majadapampa, se identificó hasta un 65 % de concentración en los sembríos de Avena, Olluco y Rumex ssp<sup>5</sup> (Figura 3a). Mientras que para las parcelas de Cebada y Chacra

en Ronquillo Alto se estima hasta un 73 % de concentración; además, las zonas que están cerca de caminos presentan una concentración de hasta un 77 % de sedimentos finos: Aliso y Ciprés (Figura 3b).

<sup>5</sup> Conocido por los pobladores del lugar como "mala hierba".

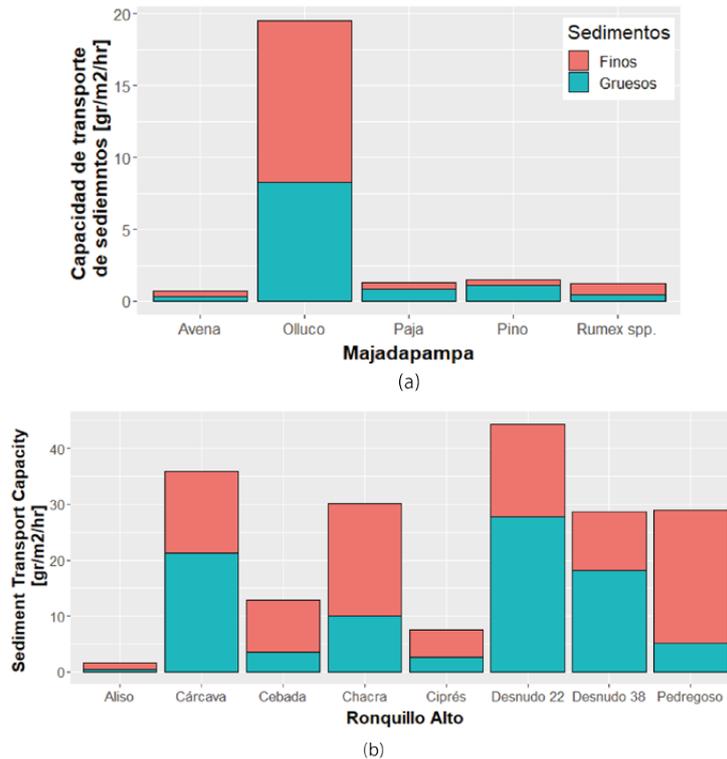


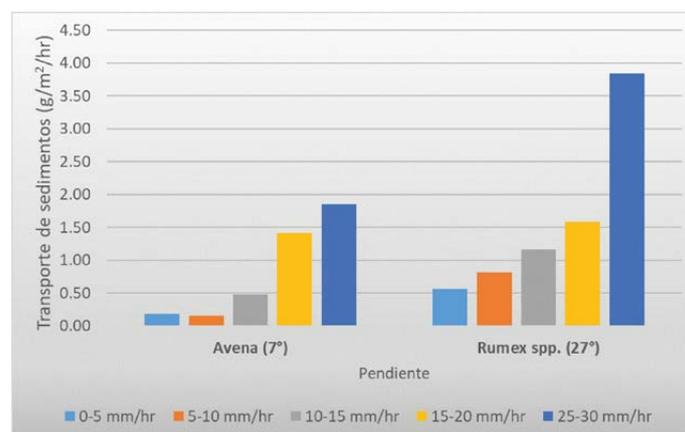
Figura 3. Transporte de sedimentos finos y gruesos.

### Efecto de la pendiente en la capacidad de transporte de sedimentos

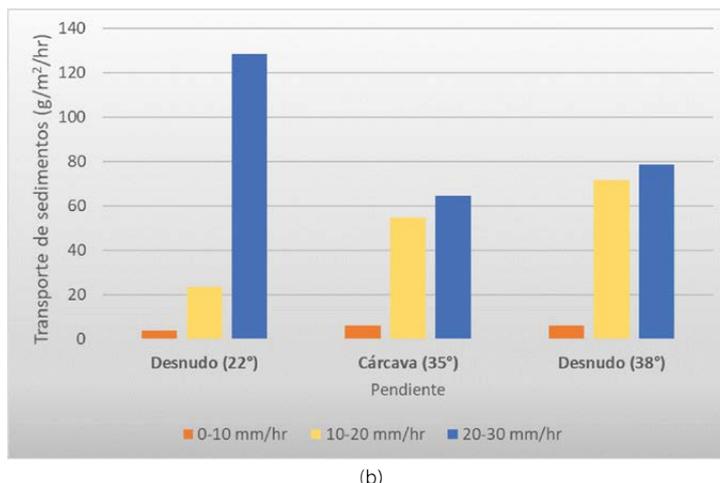
El análisis del efecto de la pendiente en la capacidad de transporte se realizó en parcelas con la misma cobertura vegetal. Así, para Majadapampa, el transporte de sedimentos se incrementa en un promedio de 2 veces más cuando la pendiente aumenta en 20° y la precipitación media es mayor a 25 mm/h (Figura. 4a). Por otro lado, para Ronquillo Alto no se identifica una diferencia significativa cuando la precipitación es inferior a 10 mm/h; sin embargo, la capacidad de transporte de sedimentos aumenta aproximadamente 2

veces más, en un cambio de 20 grados de pendiente cuando las precipitaciones son mayores a 10 mm/h.

La tasa de sedimentos es más elevada en una pendiente de 22° que en pendientes superiores (35 y 38°) cuando la precipitación es mayor de 20 mm/h. De acuerdo con las observaciones, podría explicarse que este proceso proviene de la capacidad del suelo para ser erosionado y el tipo de erosión que experimenta, ya que en laderas altas es más probable que se encuentre un suelo más compactado (Ribolzi et al., 2011) y la erosión laminar ya no sea el fenómeno predominante.



(a)



(b)

Figura 4. Efecto de la pendiente en la capacidad de transporte.

## CONCLUSIONES

La hidrología de la cuenca del río Ronquillo es bastante diversa, ya que para la zona de Majadapampa las precipitaciones son más prolongadas con intensidades máximas menores a 25mm/h; mientras que para la zona de Ronquillo alto, las precipitaciones son más cortas y de intensidades altas. Los efectos de estas características meteorológicas y morfológicas de cada zona son determinantes para la capacidad de transporte de sedimentos e incluso el transporte de grandes masas de suelo erosionado.

La captación Ronquillo se ve afectada por la alta tasa de sedimentos ya que los operarios limpian constantemente la captación en épocas de lluvia. Además, el costo de tratamiento de agua potable aumenta por los sedimentos arrastrados de la cuenca, lo que hace más difícil el aprovechamiento del agua para Cajamarca. Erkossa et al. (2015) sostiene que además del deterioro a largo plazo de la calidad de la tierra por la degradación del suelo, la pérdida financiera anual sufrida por los agricultores es considerable.

## REFERENCIAS

Bagarello, V. & Ferro, V. (2004). Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy). *Hydrological Processes*, 18(1), 141-157. doi:10.1002/hyp.1318.

Butt, M., Mahmood, R. & Waqas, A. (2011). Sediments deposition due to soil erosion in the watershed region of Mangla Dam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 181(1-4), 419-429. doi:10.1007/s10661-010-1838-0.

Chaplot, V. & Le Bissonais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(2), 145-153. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(200002)25:2<145::AID-ESP51>3.0.CO;2-3.

Deviren, S., Huang, C. H., Flanagan, D. C. & Erpul, G. (2018). Process-based soil erodibility estimation for empirical water erosion models. *Journal of Hydraulic Research*, 56(2), 181-195. doi:10.1080/00221686.2017.1312577.

Erkossa, T., Wudneh, A., Desalegn, B. & Taye, G. (2015). Linking soil erosion to on-site financial cost: lessons from watersheds in the Blue Nile basin. *Solid Earth*, 6(2), 765-774. doi:10.5194/se-6-765-2015.

Furchner, K. (2010). *Qualitative und semiquantitative Charakterisierung der Bodenerosionsformen im Einzugsgebiet des Río Manzana in der Region Cajamarca, nördliche Sierra Peru*. Freie Universität Berlin.

Kinnell, P. I. A. (2006). Simulations demonstrating interaction between coarse and fine sediment loads in rain-impacted flow.

*Earth Surface Processes and Landforms*, 31(3), 355-367. doi:10.1002/esp.1249.

Krois, J., Abendroth, S., Schulte, A., & Schneider, M. (2013). Dry Season Runoff and Natural Water Storage Capacity in the High Andean Catchment of the River Ronquillo in the Northern Sierra of Peru. *Journal of Latin American Geography*, 12(3), 59-89.

Krois, J., & Schulte, A. (2014). GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography*, 51, 131-142. doi:https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.006.

Krois, J. (2016). *Soil and Water Conservation in the Northern Andes of Peru* (doctoral thesis). Freie Universität, Berlin, Germany.

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P. & Guyot, J. L. (2017). The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports*, 7(1), 11947. doi: 10.1038/s41598-017-12220-x.

Quansah, C. (1981). The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *Journal of Soil Science*, 32(2), 215-224. doi:10.1111/j.1365-2389.1981.tb01701.x

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. (Vol. 703): United States Department of Agriculture Washington, DC.

Ribolzi, O., Patin, J., Bresson, L. M., Latschack, K. O., Mouche, E., Sengtaheuanghoung, O.,... Valentin, C. (2011). Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos. *Geomorphology*, 127(1), 53-63. doi: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.004.

Rocha, A. (2006). La problemática de la sedimentación de embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al embalse de Poechos. I Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). Lima, Perú.

Somarriba, M., Obando, M. & Alonso, J. (Ed). (2005). Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. Managua, Nicaragua. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/259952614\\_Manual\\_de\\_metodos\\_sencillos\\_para\\_estimar\\_erosion\\_hidrica](https://www.researchgate.net/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_para_estimar_erosion_hidrica).



Vista de la captación Ronquillo - cuenca baja del río Ronquillo.

# Estudio del transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo

Diana Díaz<sup>1,2\*</sup>, Sergio Morera<sup>1,3</sup>, y Jhon Orrillo<sup>1,2</sup>

## INTRODUCCIÓN

El diseño de infraestructura hidráulica requiere de la estimación del transporte de sedimentos. La ingeniería tradicional utiliza las formulas empíricas mediante las cuales se obtienen resultados que generalmente no se pueden comparar con datos observados,

debido a que no es común realizar el monitoreo de sedimento de fondo en las cuencas. Tomar la decisión de qué fórmula se aproxima mejor a los resultados reales del transporte de sedimentos, sigue siendo un reto para la ingeniería. En ríos de montaña

---

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

dicho reto se torna en un desafío debido a la fuerte variabilidad del transporte de sedimentos, las fuertes pendientes de los ríos y el material de tipo grava de los lechos, condiciones que no permiten utilizar técnicas de muestreo comúnmente utilizadas en ríos con lechos de arena.

La presente investigación estableció una técnica de monitoreo de sedimentos de fondo para estimar el transporte de sedimentos real, para la cual se utilizó como trampa de sedimentos a la presa formada por la estructura de captación en la estación de monitoreo. Los resultados medidos en campo, se compararon con el estimado a partir del uso de cuatro fórmulas empíricas: (i) Smart, (1984); (ii) Bathurst et al., (1987); (iii) Sub-sustrato basado en la ecuación de Parker, Klingeman, & McLean, (1982); y (iv) Meyer-Peter & Müller, (1948).

El tramo del río Ronquillo estudiado corresponde a 200 m aguas arriba de la estación hidro-sedimentológica Ronquillo. Se seleccionó este tramo por estar ubicado cerca al punto emisor de la cuenca y ser representativo para realizar el muestreo de granulometría y obtener los parámetros necesarios del cauce. El río Ronquillo, es un río de montaña de fuerte pendiente (Tabla 1), y el ancho a lo largo del cauce es muy variable, pero cuenta con un ancho promedio de 6.60 m. Los diámetros característicos del material del lecho sub superficial son: D16=2.12 mm, D50=8.77 mm, D84=31.64 mm, D90= 39.82 mm y Dm=16.26 mm, mientras que los diámetros característicos del lecho superficial son: D16=29.59 mm, D50=94.73 mm, D84=343.84 mm, D90= 446.22mm y Dm= 129.48 mm.

**Tabla 1.** Principales características de la cuenca y río Ronquillo.

	PARÁMETROS	VALOR
Cuenca Ronquillo	Área de la cuenca, Km <sup>2</sup>	41.7
	Perímetro de la cuenca, Km	34.5
	Pendiente promedio de la cuenca, %	0.29
	Elevación máxima, msnm	3 985.0
	Elevación media, msnm	3 508.0
	Elevación mínima, msnm	2 835.0
	Tiempo de concentración, mín.	235.0
	Longitud del máximo recorrido, Km	13.2
Río Ronquillo	Pendiente media del río ubicado aguas arriba de la captación, %	3.16
	Precipitación anual, mm	1 280
	Descarga máxima medida, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	33.7
	Descarga media medida, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0.2
	Descarga mínima medida, m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0.1

El objetivo del presente estudio es estimar el transporte de sedimento de fondo real en el río Ronquillo, a través del monitoreo y procesamiento de información hidrológica y sedimentológica de sedimento de fondo; estimación del volumen de sedimento

de fondo utilizando fórmulas empíricas y finalmente, comparar e identificar la fórmula empírica de sedimento de fondo cuyos resultados se aproximan al volumen de sedimento de fondo real observado.

## METODOLOGÍA

### Monitoreo de caudales líquidos

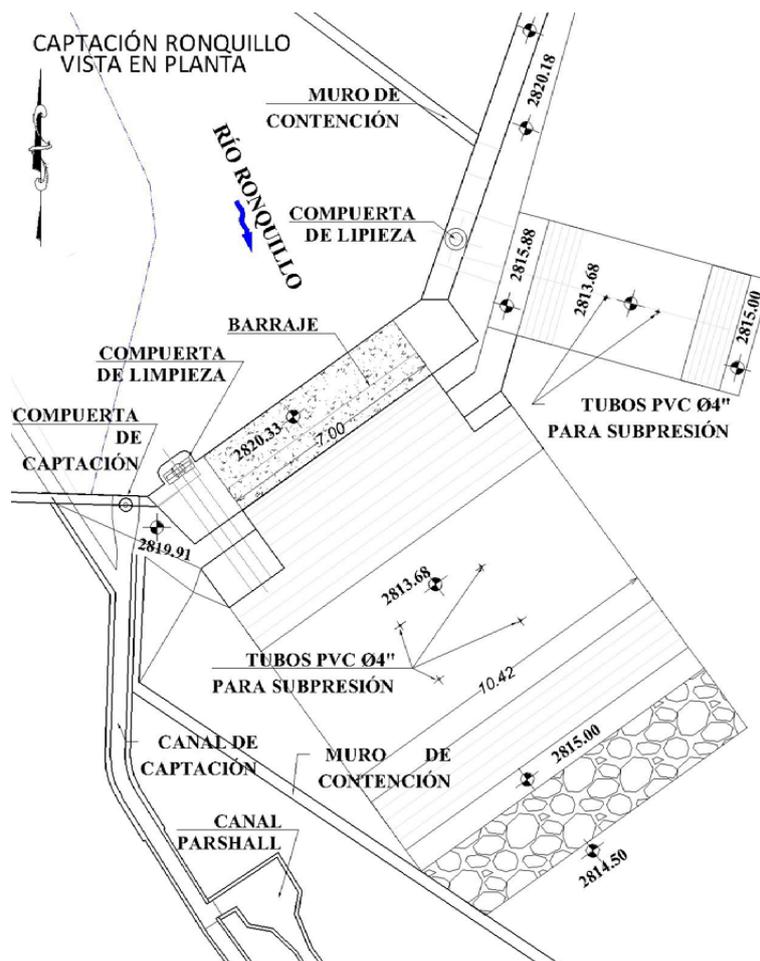
La estación hidro-sedimentológica Ronquillo, está ubicada a un costado de la estructura de la captación del mismo nombre, y se encuentra funcionando desde el año 2008 hasta la actualidad. Esta estación está conformada por un sensor de nivel de agua, donde los niveles son registrados continuamente a lo largo del tiempo y finalmente son convertidos a caudales.

El monitoreo de los caudales en el río han permitido obtener el tiempo y caudales involucrados en el llenado con sedimento de fondo de la presa de derivación.

### Monitoreo del sedimento de fondo

El punto de monitoreo está ubicado en la captación Ronquillo (ubicada en el punto emisor de la cuenca del mismo nombre).

El barraje permite la formación de una presa con una distancia de 16 m aguas arriba de este, su capacidad máxima de almacenamiento corresponde a  $68 \pm 2 \text{ m}^3$ , esta presa actúa como un totalizador de sedimentos ya que en ella se acumulan los sedimentos transportados y cuando estos llegan al nivel máximo de acumulación, se abren las compuertas de limpieza (CG-1 y CG-2, Figura 1) para eliminar los sedimentos de la presa y dejarla limpia. Este tipo de monitoreo es un método directo semejante a las trampas de sedimentos, las que consisten en un trampa



**Figura 1.** Estructura de captación Ronquillo, se muestra el canal de captación y el barraje de la presa.  
Fuente: Modificado de SEDACAJ.

ubicada en el cauce del río, donde se acumulan los sedimentos (Hudson, 1997).

### Estimación de transporte de sedimentos utilizando fórmulas empíricas

Para la estimación del sedimento de fondo, se utilizaron cuatro fórmulas empíricas (Tabla 2): (i) Fórmula del substrato basado en la ecuación de Parker, Klingeman y McLean,

(1982) (P-K-Mc), que calcula las tasas de transporte sobre la base de un único tamaño de grano (D50 subsuperficial); (ii) Smart, (1984) (S-J), esta fórmula se realizó con 213 pruebas con pendientes entre 0.04 % - 20 %; (iii) Bathurst, (1987), que considera el exceso de caudal sobre el caudal crítico requerido para iniciar el movimiento de las partículas; y (iv) Meyer -Peter y Muller, (1948) (M-P-M), realizada en el laboratorio de investigación hidráulica de Zurich, con material no uniforme de varias densidades.

Tabla 2. Fórmulas para sedimento de fondo utilizadas.

AUTOR	PARÁMETROS	VALOR
Sub-sustrato basado en la ecuación de Parker, Klingeman, & McLean (1982) (P-K-Mc)	$W^* = \begin{cases} 11.2 \left(1 - \frac{0.822}{\phi_{50}}\right)^{4.5} & ; \phi_{50} > 1.65 \\ 0.0025 \exp \left[ 14.2(\phi_{50}-1) - 9.28(\phi_{50}-1)^2 \right] & ; 0.95 \leq \phi_{50} \leq 1.65 \\ 0.0025 \phi_{50}^{14.2} & ; 0.95 < \phi_{50} \end{cases}$ $\tau_{50}^* = \frac{u_*^2}{(s-1)gD_{50sub}}, \quad \phi_{50} = \frac{\tau_{50}^*}{\tau_{r50}^*}$ $Q_b = \frac{W^* u_*^3 \rho_s}{(s-1)g}$	Desarrollado para ríos con lecho de grava.
Smart (1984) (S-J)	$\Phi^* = 4 \left[ \frac{D_{90}}{D_{30}} \right]^{0.2} s^{0.6} C^* \tau^* 0.5 \left[ \tau^* - \tau_{cj}^* \right]$ $\tau_{cj}^* = \tau_c^* \cos(\arctan S) \left[ 1 - \frac{S}{\tan \phi} \right]$ $\Phi^* = \frac{q_s}{D \sqrt{g \Delta D}}$	0.4% ≤ S ≤ 20% Diámetros > 0.4 mm
Bathurst et al. (1987)	$\Phi^* = \frac{2.5 S^{3/2}}{(\Delta+1)D_{50} \sqrt{(g \Delta D_{50})}} (q - q_c)$ $\frac{q_c}{\sqrt{g D_{50}^3}} = 0.15 S^{-1.12} \quad \text{O}$ $\frac{q_c}{\sqrt{g D_{16s}^3}} = 0.21 S^{-1.12}$ $\Phi^* = \frac{q_s}{D \sqrt{g \Delta D}}$	0.4% ≤ S ≤ 4% 0.30 ≤ d/D84 ≤ 50

Meyer-Peter & Müller (1948) (M-P-M)	$Q_b = 8\gamma_s \left( g \left( \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} D_m^3 \right) \right)^{0.5} \left[ \left( \frac{n_s}{n} \right)^{1.5} \tau_* - 0.047 \right]^{1.5}$ $n_s = \frac{D_m^{1/6}}{26}$	0.4 < D50 < 29mm
---	--	------------------

Dónde:

$\phi_{50}$  : Parámetro adimensional en base a tensión de corte necesario para movilizar partículas de tamaño D50.

$\tau_{50}$  : Tensión de referencia de Shield igual a 0.0876.

$\tau_c$  : Esfuerzo cortante crítico.

$S$  : Pendiente del cauce (%).

$q$  : Caudal de agua por unidad de ancho.

$q_c$  : Caudal líquido crítico.

$q_s$  : Caudal sólido de fondo ( $m^3/s \cdot m$ ).

$Q_b$  : Caudal sólido de fondo ( $Kg/s \cdot m$ ).

$\Phi$  : Ángulo de fricción interna de las partículas.

$\gamma_s$  : Peso específico del suelo ( $Kgf/m^3$ ).

$\gamma$  : Peso específico del agua ( $Kgf/m^3$ ).

$D_m$  : Diámetro medio (m).

$D_{90s}$  : Diámetro de la partícula del 90 % de sedimento superficial.

$D_{50}$  : Diámetro del 50 % del material del lecho sub-superficial.

$D_{30}$  : Diámetro del 30 % del material del lecho sub-superficial.

$D_{16s}$  : Diámetro del 16 % del material del lecho superficial.

$D$  : Diámetro característico del lecho del cauce.

$\tau_*$  : Número adimensional de Shields.

$n_s$  : Coeficiente de manning debido a la partícula.

$n$  : Coeficiente de manning.

$g$  : Aceleración debido a la gravedad ( $m^2/s$ ).

$s$  : Relación entre peso específico del suelo y del agua  $\gamma_s/\gamma$ .

$\Delta$  : Corresponde a s-1.

## RESULTADOS

### Comparación de volúmenes de sedimentos observados y estimados

Para el análisis de los datos obtenidos se separaron en dos grupos, teniendo en cuenta la duración de cada evento de crecida que llenó con sedimentos la presa de derivación Ronquillo. El "Grupo 1" (Figura 2) está conformado por eventos que duraron como máximo 90 minutos, y presentan una variación de caudales líquidos desde  $3 m^3 \cdot s^{-1}$  hasta los  $20 m^3 \cdot s^{-1}$ , mientras que el "Grupo 2" (Figura 3) está conformado por los eventos de crecida que duraron más de 90 minutos, conformado por caudales que varían desde  $3 m^3 \cdot s^{-1}$  hasta los  $34 m^3 \cdot s^{-1}$ .

El coeficiente de proporcionalidad ( $V_e/V_m$ ), corresponden al volumen de sedimento de fondo estimado con las fórmulas empíricas ( $V_e$ ) entre el volumen de sedimento de fondo medido en campo ( $V_m$ ).

Los coeficientes de proporcionalidad medios obtenidos para cada fórmula aplicada en ambos grupos, están representados por

la línea negra y sus valores en ella en cada diagrama de cajas, observándose que para las 4 fórmulas los coeficientes obtenidos son mayores a 1, lo cual nos indica que los valores

estimados por cada una de las fórmulas están sobre estimando los volúmenes de sedimento acumulados observados.

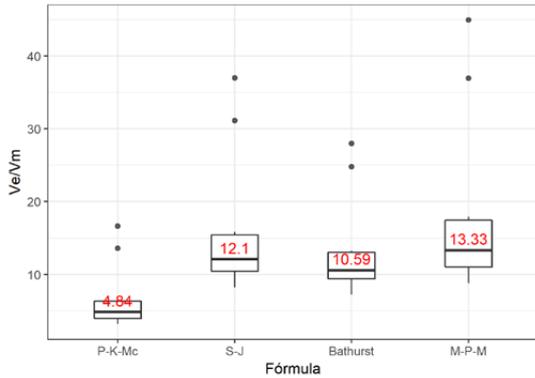


Figura 2. Coeficiente de proporcionalidad entre el volumen estimado (Ve) y el volumen medido en campo (Vm) correspondientes a los eventos que conforman el grupo 1.

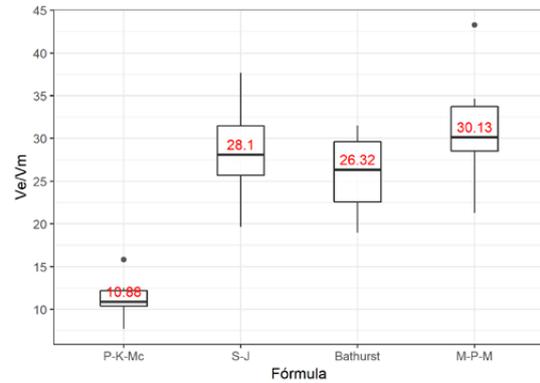


Figura 3. Coeficiente de proporcionalidad entre el volumen estimado (Ve) y el volumen medido en campo (Vm) correspondientes a los eventos que conforman el grupo 2.

### Comparación de caudales sólidos observados y estimados

Al realizar un ajuste potencial entre los valores estimados con las fórmulas empíricas observadas y con los valores medidos en campo, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 4. El coeficiente "a" representa la disponibilidad de sedimentos en la cuenca, observando que en el caso de las formulas empíricas a= 768.5 (curva marrón) hasta 2 343 (curva roja) son mayores que el

observado a= 9.3 (curva de color negro). Las fórmulas empíricas consideran mayor disponibilidad de sedimento que el real. El exponente "b", representa la intensidad de las fuerzas erosivas, que según Iroumé (1990), varía desde 2 hasta 2.5, siendo el último valor, el que representa la intensidad más alta. En las formulas empíricas el valor de "b", varía entre 0.98 y 1.39, mientras que el observado es cercano a 2.46. Este resultado claramente muestra que el río andino de montaña muestra condiciones erosivas superiores.

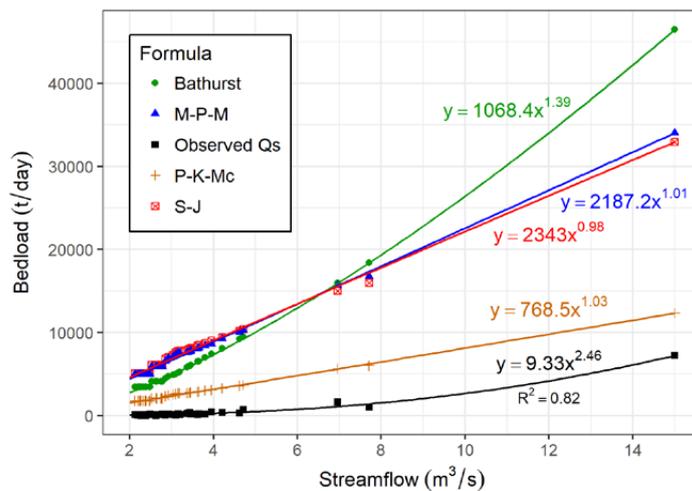


Figura 4. Curva de tendencias del sedimento de fondo observado y las tendencias del sedimento de fondo estimadas utilizando las fórmulas empíricas mostradas en la Tabla 2.

## CONCLUSIONES

Al comparar los volúmenes de sedimentos de fondo y caudales sólidos medidos en campo, con los estimados por fórmulas empíricas, se encontró que las fórmulas empíricas tienden a sobreestimar los volúmenes de sedimentos.

La fórmula empírica cuyos resultados se acercaron más a los medidos, fue la de Parker, Klingeman y McLean, fórmulas diseñadas para cauces con lechos gravosos.

Los parámetros "a" y "b" del ajuste potencial de caudales sólidos de fondo medidos en campo, mostraron que el río Ronquillo tiene alta intensidad de fuerzas erosivas, las cuales pueden estar limitadas por la disponibilidad de sedimentos.

## RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos, son válidos para los caudales del periodo 2008 - 2016, ya que, con caudales mayores a los monitoreados en este periodo, el resultado puede variar.

Es de gran importancia continuar con el monitoreo de los sedimentos en cuencas de montaña debido a que proveen de grandes volúmenes de agua a la costa peruana y a la llanura amazónica.

Los estudios obtenidos demuestran que las fórmulas empíricas no siempre permiten obtener resultados acordes a la realidad de la zona de estudio y realza la importancia del monitoreo de sedimentos en las cuencas.

## REFERENCIAS

Bathurst, J., Graf, W. & Cao, H. (1987). Bed load discharge equations for steep mountain rivers. *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*. John Wiley, New York. p 453-491.

Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Boletín de Suelos de la FAO - 68. Roma, Italia: Organización de las Naciones

Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0848S/T0848S00.htm>.

Iroumé, A. (1990). Assessment of Runoff and Suspended Sediment Yield in a Partially Forested Catchment in Southern Chile. *Water Resources Research*, 26(11), 2637–2642. doi: <https://doi.org/10.1029/WR026i011p02637>.

Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. In IAHSR 2nd meeting, Stockholm, appendix 2. Recuperado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A4fda9b61-be28-4703-ab06-43cdc2a21bd7>.

Parker, G., Klingeman, P. & McLean, D. (1982). Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams. *Journal of the Hydraulics Division*, 108(4), 544–571.

Smart, G. M. (1984). Sediment transport formula for steep channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(3), 267–276. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:3\(267\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:3(267)).



Vista horizontal de rocas bien estratificadas - via hacia Sexo mayo Lotell

# Los deslizamientos y ecosistemas

Romel Príncipe<sup>1</sup>, Marco Matto<sup>1</sup> y Juan Gómez<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

Cruden & Varnes (1996) sostienen que un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa de suelos o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante. Por otro lado, de acuerdo con las Naciones Unidas (1992) un ecosistema es un complejo dinámico

de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno no viviente, que interactúa como una unidad funcional. Por otro lado, el ecosistema del área de estudio es del tipo matorral andino<sup>2</sup> según el MINAM. (2018) y se encuentran con rango altitudinal de 1 500 hasta 3 900 msnm, además se caracteriza por la presencia de vegetación leñosa y arbustiva

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú; \* [rprincipe@igp.gob.pe](mailto:rprincipe@igp.gob.pe).

<sup>2</sup> Extraído del mapa de ecosistemas del Perú, Recuperado de: <http://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/>

de composición y estructura variable, con una cobertura de suelo superior al 10 % que se extiende por más de 0,5 hectárea, y cuya altura sobre el suelo no supera los 4 metros.

A partir de lo anterior en el presente estudio buscamos entender la ocurrencia de los deslizamientos y cómo estos afectan a los ecosistemas de zonas tropicales, específicamente en el ecosistema de matorral andino, para lo cual se realiza el análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes de satélite complementándose con visitas de campo. De este modo, el trabajo permitirá analizar la actual situación de la zona

de los deslizamientos estudiado por Rodríguez (2016) y Mendoza (2016) en las localidades de Corisorgona y Urubamba II.

## ÁREA DE ESTUDIO

La zona donde se realiza el estudio se localiza en la confluencia de los ríos Urubamba y Tres ríos. En la parte baja de la cuenca Ronquillo, tal como se aprecia en la Figura 1 las zonas donde se ubican los deslizamientos están alrededor de las localidades de Urubamba II y Corisorgona ubicado a 2.67 km, al noroeste de la ciudad de Cajamarca.

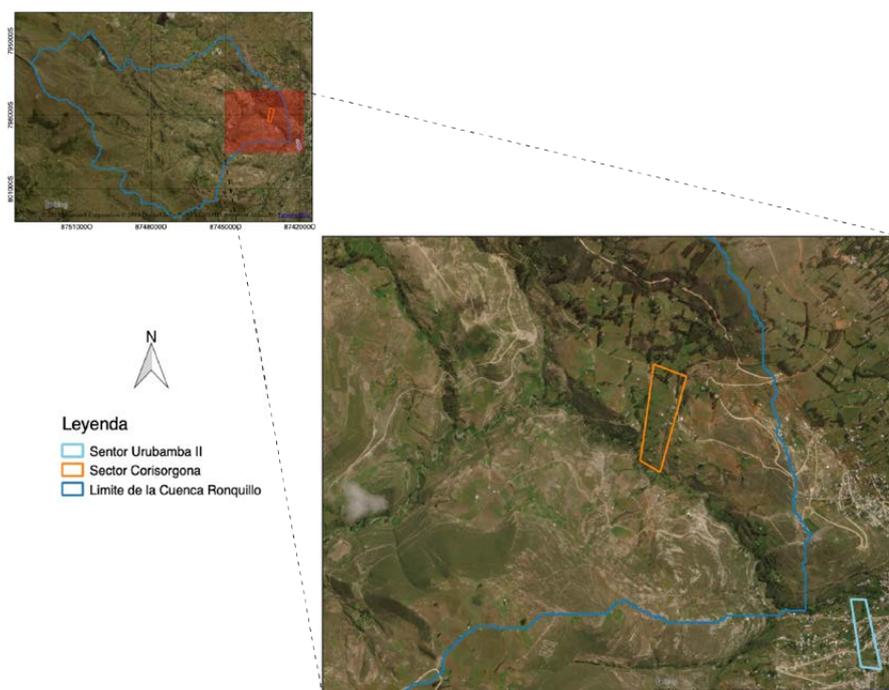


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio: Sectores Urubamba II y Corisorgona.

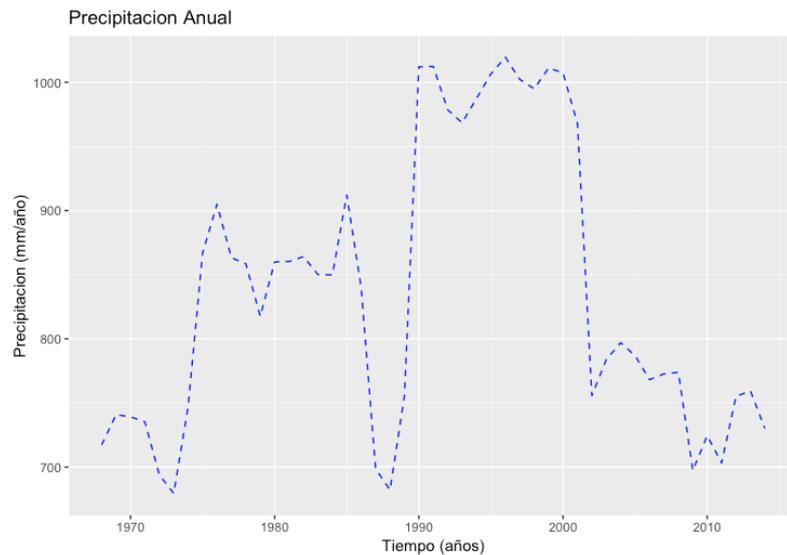
## DATOS Y MÉTODOS

El estudio se realizó empleando el diagrama de flujo mostrado en la Figura 4. Primero se adquieren los datos de fotografías aéreas<sup>3</sup> e imágenes satelitales, las fotografías aéreas adquiridas corresponden al año 1971 con una escala de 1/17 000, de 15 micrones en formato digital. Mientras que las imágenes satelitales son descargados del aplicativo Google Earth (satélite de la empresa MAXAR<sup>4</sup>) mediante el aplicativo SASPlanet en formato imagen (jpg),

georeferenciado con fecha de toma de dato en terreno correspondiente a los meses de diciembre para el año 2003 y en los meses de marzo (Corisorgona) – abril (Urubamba II) para el 2019. Posteriormente, se emplean datos de precipitación obtenidos de la estación hidrológica Weberbauer (traspuesto

<sup>3</sup> Adquirida en la Dirección de Vigilancia y Reconocimiento Aéreo (DIVRA) de la Fuerza Aérea del Perú (FAP).

<sup>4</sup> <https://www.maxar.com/our-company/maxar-missions>



**Figura 2.** Serie de tiempo de precipitación anual correspondiente al rango de tiempo 1968 a 2015 tomado en la estación Weberbauer y traspuerto para la zona de estudio. Fuente: Rodríguez (2016).

para la zona de estudio), dichos datos fueron extraídos del trabajo de Rodríguez (2016) el cual es mostrado en la Figura 2, donde muestra el acumulado de un periodo de 12 meses desde mediados del año 1968 hasta 2015. Además, estos 12 datos fueron tomados de junio a diciembre del año anterior y de enero a mayo del año posterior.

Finalmente, las fotografías aéreas y las imágenes satelitales fueron georreferenciados empleando 11 puntos de control medidos con GPS diferencial de la marca Trimble modelo R10 GNSS. Dichos datos de coordenadas obtenidas en campo son mostrados en la Tabla 1, y en la Figura 3 en círculos de color anaranjado.

**Tabla 1.** Coordenadas de los puntos de control tomados en campo empleando GPS diferencial Trimble modelo R10 GNSS.

ESTE	NORTE	ALTURA (M)
769267.83	9211260.56	3262.38
770480.82	9210421.80	3169.43
770159.69	9208240.12	3067.38
771623.78	9206831.19	3059.13
769323.50	9206675.54	3394.33
768872.72	9206157.29	3468.14
772677.67	9207939.71	2783.22
772725.53	9207570.77	2897.02
772483.41	9206046.04	3108.26
771492.67	9204809.62	3358.68
773921.00	9207947.29	2741.59

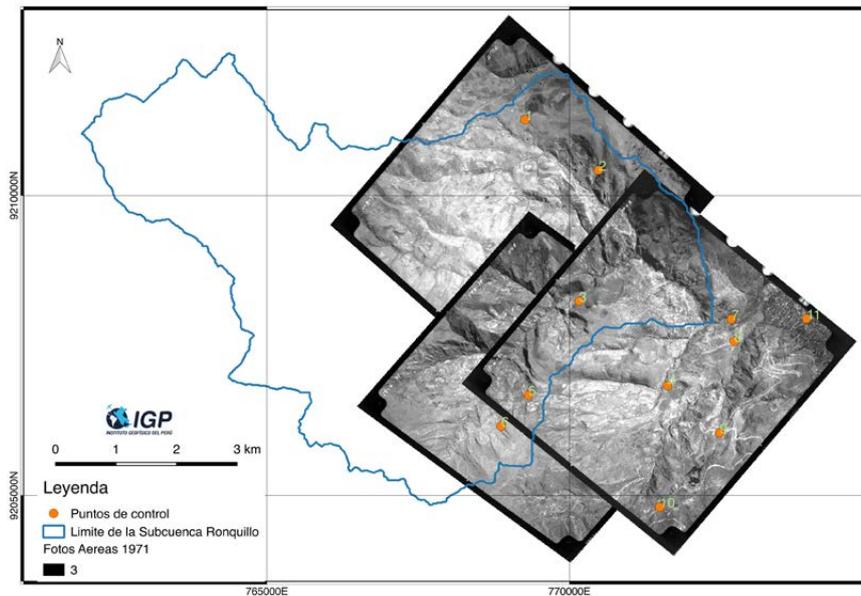


Figura 3. Fotografías aéreas correspondiente al año 1971 con los puntos de control en color anaranjado tomados en campo.

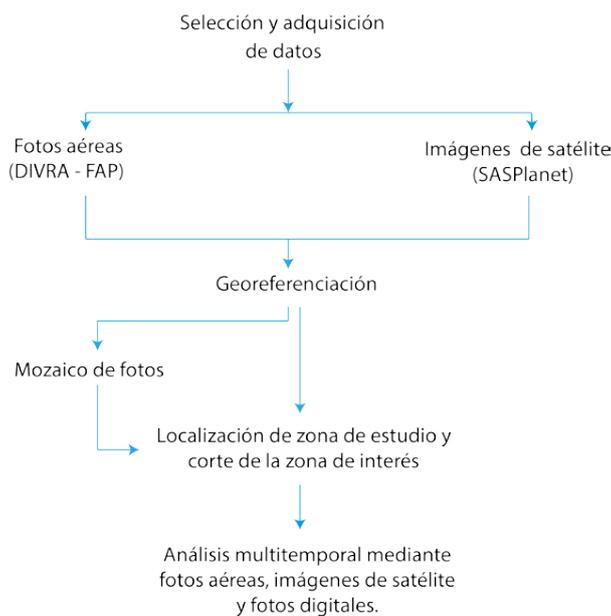


Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de las fotos aéreas e imágenes de satélite.

## ANÁLISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS

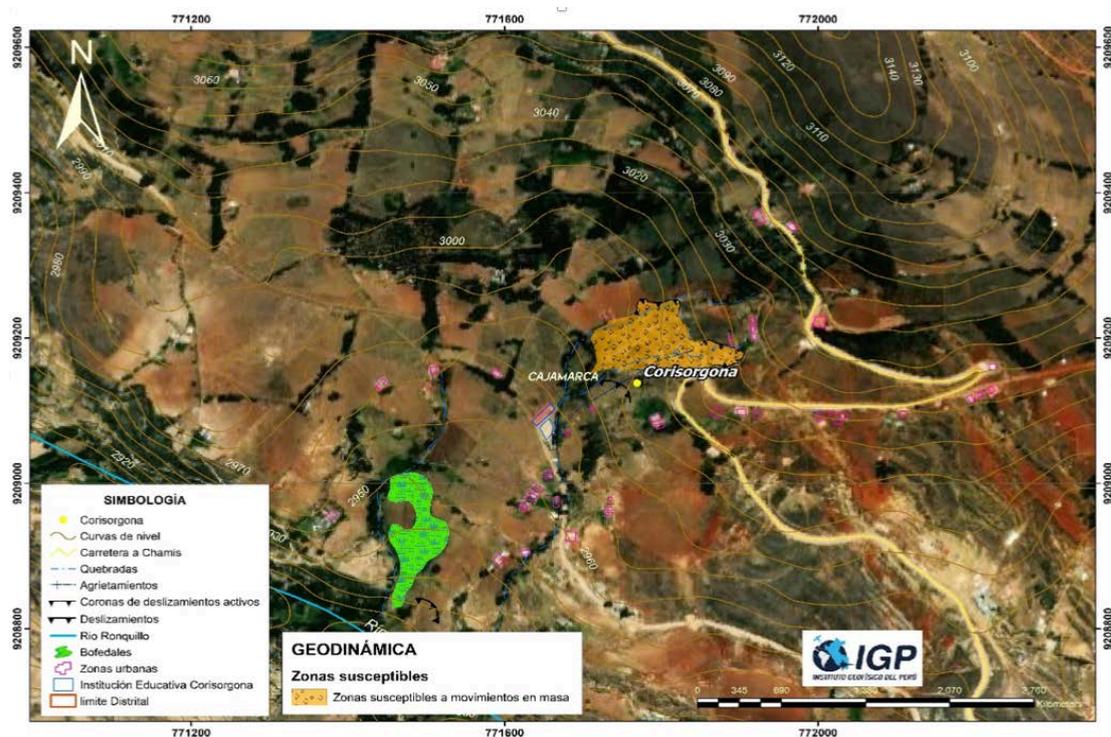
### Deslizamientos en Corisorgona

El sector de Corisorgona, viene siendo afectado por movimientos en masa de tipo deslizamiento, este peligro geológico se ubican a 200 metros, al noreste de la

Institución educativa mixta N° 82119 de Corisorgona. Las zonas de deslizamientos se ubican a 56 metros al oeste de la carretera a la localidad de Chamis, que cruza el poblado de Corisorgona con dirección noroeste. El área afectada por estos deslizamientos cubre aproximadamente unas 1.24 hectáreas, y la distancia desde las coronas de deslizamientos hasta el pie de estos, es de 199 metros aproximadamente, dentro de las zonas

susceptibles a deslizamientos (Figura 5). Se evidencio en campo agrietamientos en línea casi recta de unos 240 metros de longitud, estos agrietamientos tienen una dirección noroeste hacia la zona de la quebrada (Figura 12), sumado a este, existen agrietamientos de menor longitud de 20 metros aproximadamente que nos indican la inestabilidad de estas laderas y el movimiento activo del mismo.

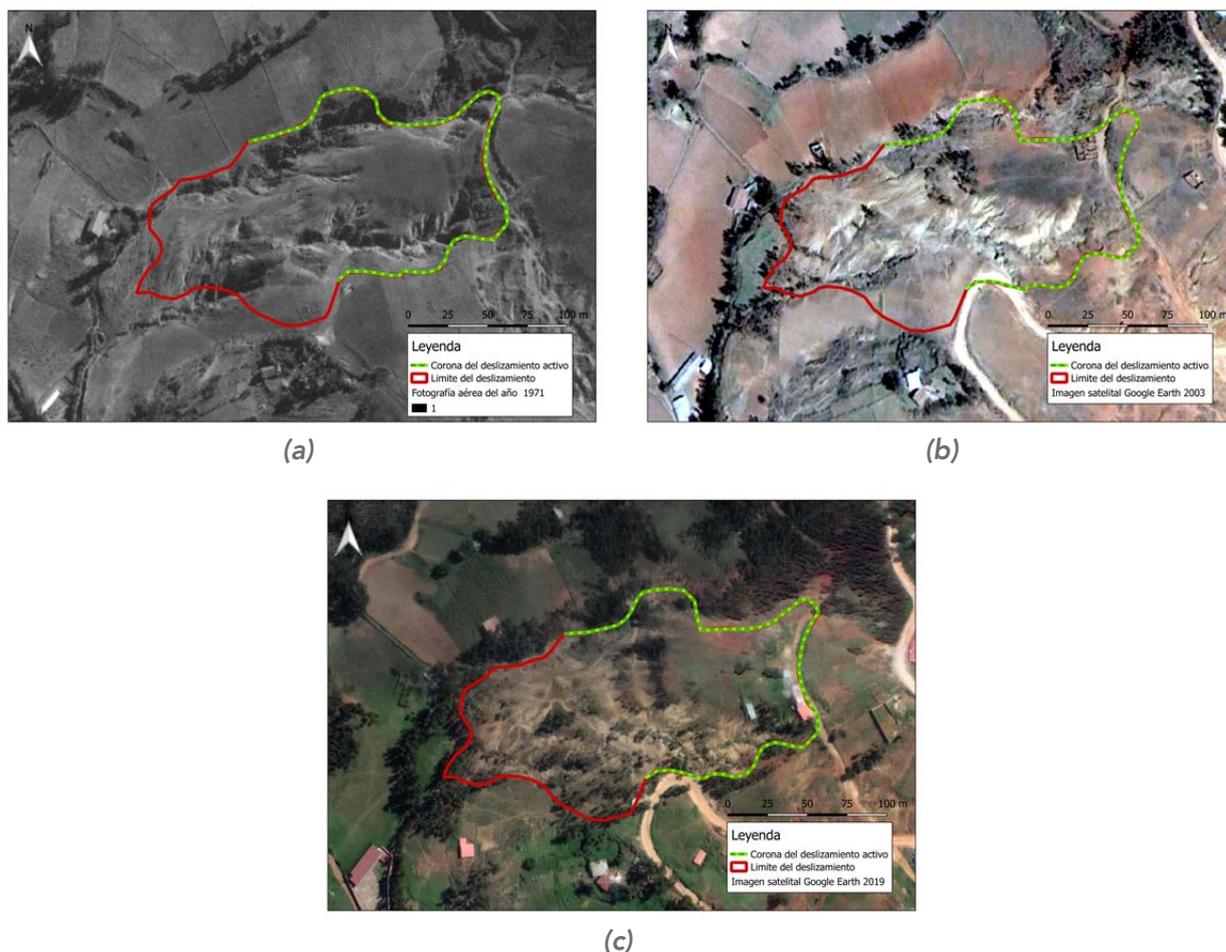
El cuerpo del deslizamiento litológicamente está compuesto por depósitos coluviales, materiales clásticos de limos, arcillas y materiales detríticos meteorizados, que podrían llegar al cauce de la quebrada estacional en caso de tener lluvias anómalas, como es el caso del fenómeno de El Niño que actuaría como factor desencadenante para producir un flujo de detritos.



**Figura 5.** Mapa geodinámico del deslizamiento del sector de Corisorgona. Se observa las coronas de deslizamiento y las zonas susceptibles a activarse y causar un potencial deslizamiento en el sector mencionado.

Por otro lado, a partir del análisis multitemporal de las fotos aéreas e imágenes de satélite se pueden observar que el proceso de meteorización para el año 1971 (Figura 6a) es menor en comparación a los años 2003 (Figura 6b) y 2019 (Figura 6c). Este proceso es más perceptible en las imágenes de los dos últimos años posiblemente debido a las fuertes precipitaciones que ocurrieron en los periodos 1973-1985 y 1990-2000 (Figura 3), los cuales incluyen los eventos de El Niño

de magnitud extraordinario (ENFEN, 2012). También, se pudieron evidenciar en las tres imágenes analizadas la formación de las cárcavas como consecuencia del proceso de erosión el cual fue corroborado en la visita de campo (Figuras 11 y 12). Asimismo, para los años 2003 y 2019 se aprecia mayor cobertura vegetal en comparación al año 1971; de estos últimos en el 2019 es donde existe mayor densidad vegetal para la zona demarcada en color rojo (Figura 6c).



**Figura 6.** Evolución de las zonas de deslizamiento en el sector de Corisorgona empleando fotos aéreas e imágenes de satélite de Google Earth, el polígono de color rojo encierra la zona del cuerpo del deslizamiento, mientras que la zona demarcada en color azul y celeste son las coronas de deslizamiento. (a) Foto aérea del año 1971, se aprecia la zona sin cobertura vegetal y poca erosión. (b) Imagen satelital del año 2003, mayor cobertura vegetal y erosión en zona encerrada con el polígono, además existen infraestructura urbana. (c) Imagen satelital del 2019, existe viviendas en la zona de deslizamiento y cobertura vegetal.

## DESLIZAMIENTOS EN URUBAMBA II

### Antecedente del deslizamiento de Urubamba II

En el año 2001, en el sector de Urubamba II, se produjo un deslizamiento con dirección Sureste - Noroeste, que afectó algunas viviendas, y el ducto de agua potable (según testimonios de los pobladores del lugar). Rodríguez (2016) refiere que el deslizamiento ocurrió en horas de la mañana, el 23 de marzo, después de lluvias constantes en años, meses y semanas anteriores al evento. Afirmación

contrastada con el análisis de series de tiempo de precipitación acumulado anual (Figura 3), donde se aprecian que para el periodo 1990 - 2000 es donde se registró los mayores valores de tasas de precipitación anual de toda la serie histórica con magnitudes por encima de 968.4 mm/año, lo cual podría ser un indicio de la ocurrencia del evento de deslizamiento; ya que según Tong y Schmidt, (2016) existe una fuerte correlación positiva entre el aumento del desplazamiento de tierra y las precipitaciones para un mismo periodo. Del mismo modo, afirman De Vita y Reichenbach (1998) y Van Asch et al. (1999) que el deslizamiento de tierra está altamente correlacionado con las tasas de precipitación.



**Figura 7.** Deslizamiento en Urubamba II ocurrido el 23 de marzo de 2001. El punto A es el escarpe principal del deslizamiento. Foto: Rodríguez (2016).

El evento ocurrido en esta zona es observado en la Figura 7, la foto corresponde a los dos meses de ocurrido el evento. Y Rodríguez, (2016) indica que el evento fue lento hacia el río y no hubo consecuencias graves de vidas

humanas, habiendo pérdidas de terrenos de cultivo y afectación de viviendas. El punto A y B de la Figura 7 vendrían a ser la corona y el pie del deslizamiento, respectivamente.



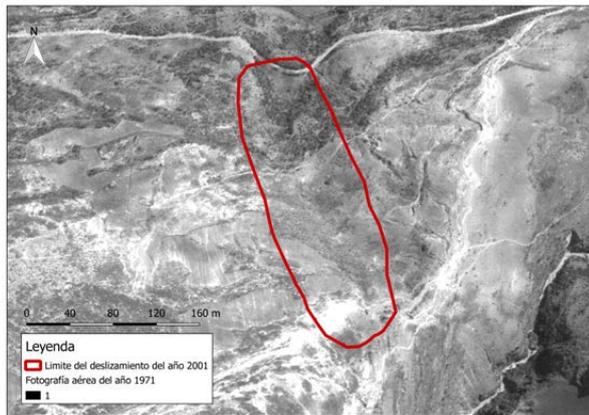
**Figura 8.** Evolución de la zona de deslizamiento de Urubamba II: (a) ocurrido el evento. (b) Pasado 4 años, con obras viales y sembríos. (c) En la actualidad con obras viales, viviendas y áreas de cultivo (Figuras 5a y 5b, tomado de Rodríguez (2016)).

A partir de la Figura 8a se aprecia la pérdida de cobertura vegetal y la capa superior del suelo. Mientras que para el año 2005 (Figura 8b) se aprecian cobertura vegetal recuperada y obras viales como la carretera. En la actualidad (Figura 8c) se aprecian carretera, viviendas y terrenos de cultivo.

Por otra parte, en el análisis multitemporal mediante las fotos aéreas e imágenes de satélite se pudieron visualizar los cambios en el área de deslizamiento desde otro ángulo de visión; es decir desde la visión azimutal (desde lo alto), para un periodo donde no existía presión antrópica (1971)

hasta la actualidad (2019). Dicho análisis con imágenes se aprecia en la Figura 9, donde en la Figura 9a se observa que no existe infraestructura urbana, ni áreas de cultivo, en la parte norte del polígono existe cobertura vegetal densa. Luego para el año 2003 (Figura 9b) se aprecia el área demarcada en color

rojo la zona del deslizamiento donde no se distingue cobertura vegetal ni infraestructura urbana; sin embargo, en la imagen del 2019 (Figura 9c) en la zona del deslizamiento se aprecian cobertura vegetal densa, viviendas y terrenos de cultivo.



(a)



(b)



(c)

**Figura 9.** Evolución de la zona de deslizamiento Urubamba II empleando fotos aéreas e imágenes de satélite de GoogleEarth, el polígono de color rojo encierra la zona del cuerpo del deslizamiento. (a) Foto aérea del año 1971 (b) Imagen satelital del año 2003. (c) Imagen satelital del año 2019.

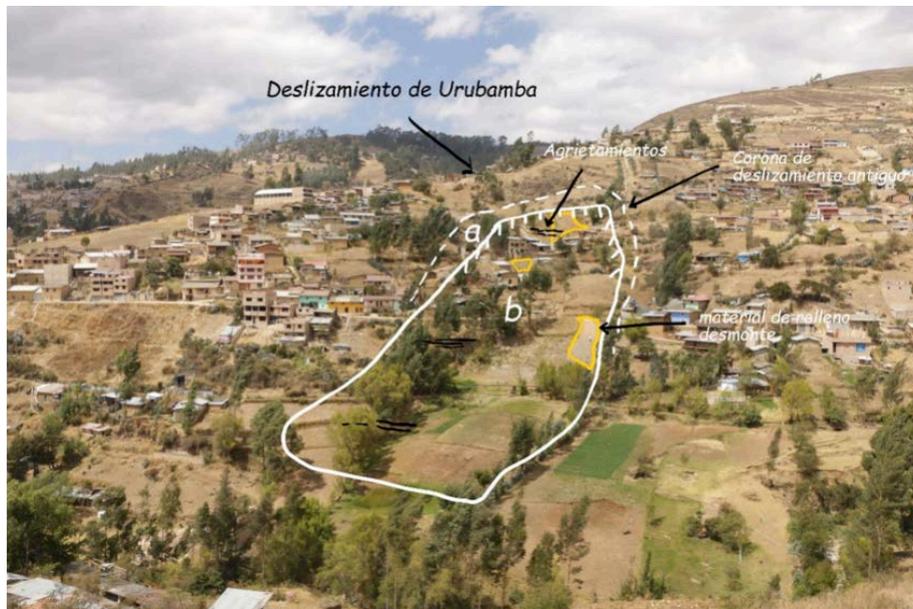
### Características del deslizamiento de Urubamba II

El deslizamiento de la zona de Urubamba II es de tipo rotacional y la dirección del movimiento en masa es de Sur a Norte. Actualmente este deslizamiento se encuentra inactivo, pero la historia geomorfológica de un territorio, influye en el relieve actual, así como también la litología y la estructura de los materiales.

La visita de campo permitió realizar algunas estimaciones geométricas como el área del deslizamiento que es 4.83 ha. aproximadamente, con un perímetro de 1 018 metros, la distancia desde la corona antigua de deslizamiento hasta el pie del deslizamiento es de 408.68 metros, en dichas inspecciones no se identificaron evidencia de escarpes recientes, lo que nos indica que el deslizamiento se encuentra inactivo, pero con algunos agrietamientos de unos 5 a 7 metros

de longitud y escarpes antiguos. Asimismo, dentro de este deslizamiento se observaron: cobertura vegetal, viviendas, áreas de cultivo y depósitos de material de desmonte al nivel de las dos trochas (producto de acumulaciones

antropogénicas los cuales son demarcados en polígonos de color amarillo) (Figura 10). Los cuales se pudieron indicar en la sección de análisis mediante fotos digitales y técnicas de percepción remota (Figura 8 y Figura 9).



**Figura 10.** Vista panorámica del deslizamiento de Urubamba II, donde se observa la zona a (estable) y la zona-b (inestable) y los agrietamientos recientes en inmediaciones del evento, también se observa que los pobladores acumulan desmonte al pie de las carreteras (polígono en color amarillo) generando zonas propensas a generar flujos de lodo en épocas de lluvia.

## EFECTO DE LOS DESLIZAMIENTOS AL MEDIO AMBIENTE

Geertsema et al. (2009) argumentan que los deslizamientos alteran los hábitats de la vida animal y vegetal, debido a que, grandes cantidades de tierra y materiales orgánicos ingresan a las corrientes de agua en forma de sedimento, como resultado de los deslizamientos y la actividad de erosión, reduciendo de esta manera la potabilidad del agua y la calidad del hábitat. Así como el de eliminar los suelos productivos de las laderas (Geertsema et al. 2009).

En tanto, a partir de lo anterior se podría afirmar que de ocurrir el deslizamiento en la localidad de Corisorgona por las evidencias presentadas, afectaría la cobertura vegetal existente en el área, así como el hábitat de alguna vida animal. Mientras que en el sector

de Urubamba II, el deslizamiento ocurrido ocasionó pérdidas de terreno de cultivo, así como de cobertura vegetal; lo cual indica que los deslizamientos generaron impactos en el ecosistema; así como también en los aspectos socioeconómicos de la población.

De acuerdo con Lozano (2008), si bien los deslizamientos afectan la diversidad vegetal, también son considerados un motor generador de continuos procesos de regeneración de ecosistema al recuperarse la cobertura vegetal; más aún Geertsema y Pojar (2007) sostienen que los deslizamientos contribuyen a la biodiversidad de tres maneras principales: cambiando el sitio, el suelo y la vegetación (hábitat). De esta manera estos últimos autores afirman que los deslizamientos podrían cambiar las condiciones del sitio de una ubicación determinada, por ejemplo, haciendo que las condiciones sean más secas o húmedas, más pedregosas o más fangosas, más permeables o menos permeables.

## CONCLUSIONES

En la zona susceptible a deslizamiento del sector de Corisorgona se identifica una cobertura vegetal densa, además de viviendas y por debajo del área delimitada, terrenos de cultivo que serán afectados de ocurrir el deslizamiento. En cambio, para el sector de Urubamba II en la zona donde ocurrió el deslizamiento actualmente se ha observado la recuperación de la cobertura vegetal y gran presión antrópica en la zona del deslizamiento, existiendo viviendas y áreas de cultivo a pesar que puede volver a ocurrir el evento de deslizamiento a consecuencia de fuertes precipitaciones (por ejemplo: ocurrencia de un evento de fenómeno El Niño).

Por otro lado, en la zona de Corisorgona los agrietamientos que se observaron nos indican la inestabilidad de estas laderas y el movimiento activo del mismo, el cual permite sugerir estudios de la tasa de movimiento de ladera aplicando técnicas de interferometría radar (InSAR). La ocurrencia de un deslizamiento en el sector de Corisorgona eliminaría la cobertura vegetal existente, alterando el ecosistema del lugar. Mientras que en el sector de Urubamba II el deslizamiento ocurrido ocasionó pérdidas de terrenos de cultivo, así como cobertura vegetal. Lo cual indica que los deslizamientos ocasionan impactos ambientales y socioeconómicos.

Investigaciones sobre la afectación de deslizamientos a los ecosistemas son escasa, pero se espera que este análisis permita abrir el espacio de futuros trabajos que den continuidad al tema abordado.

## REFERENCIAS

- Cruden, D., Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*. En Turner, K., y Schuster. R.L., ed., *Landslides investigation and mitigation*: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p.36-75.
- De Vita, P., Reichenbach, P. (1998). Rainfall triggered landslides: a reference list. *Environ. Geol.* 35(2-3), 219-233.
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño – ENFEN. (2012). *Definición y operación de los eventos El Niño y la Niña y sus magnitudes en la costa Norte del Perú*. Comité multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño.
- Geertsema, M., Highland, L., and Vaugeouis, L. (2009). *Environmental Impact of Landslides*. Berlin Heidelberg: Springer - Verlag.
- Geertsema, M., and Pojar, J.J. (2007). The influence of landslides on biophysical diversity – a perspective from British Columbia. *Geomorphology*, 89, 55-69.
- Lozano, P., Busmann, R., Kupers, M., Lozano, D. (2008). Deslizamientos naturales y comunidades pioneras de ecosistema montañoso al occidente del Parque Nacional Podocarpus (Ecuador). *Coldacia*, 30(1), 1-19.
- Mendoza, S. (2016). Estimación del riesgo en Urubamba, Ronquillo y Corisorgona-Cajamarca. *Rev. Eco Scientia*, 1(2), 67-73.
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2018). *Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú*. Recuperado de <http://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-datos/>.
- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.
- Rodriguez, R. (2016). *Método de investigación geológica – geotectónica para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo - Corisorgona Cajamarca - Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru.
- Tong, X and Schmidt, D. (2016). Active movement of the Cascade landslide complex in Washington from a coherence-based InSAR time series method. *Remote Sensing of Environment*, 186, 405-415.
- Van Asch, T., Buma, J., Van Beek, L. (1999). A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology*, 30(1-2), 25-32. Recuperado de: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00042-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00042-2).

## ANEXOS



**Figura 11.** a) Agrietamiento con dirección Noreste, a pocos metros del colegio, en dirección a la quebrada estacional de Corisorgona; b) Escarpe de deslizamiento activo, a 114 m, al noreste de la Institución Educativa de Corisorgona; c) Deslizamiento en capas arcillosas rojas en las laderas de Corisorgona.



**Figura 12.** a) Deslizamientos activos originados por la erosión de la quebrada Corisorgona (líneas amarillas); b) material coluvial, interperizado y meteorizado por el viento y las lluvias pertenecientes a las zonas de ladera en la parte central de las quebradas estacionales de Corisorgona; c) La línea blanca punteada muestra el agrietamiento con dirección Noroeste, también se observa las lomas alargadas que componen las zonas susceptibles a deslizamientos (línea color amarillo).



POSTER with pink sticky notes.

ASISTENTES	ASISTENTES
2478	EXPOSICION de fotos
2479	Alta mucha comida
2613	An. Salud de Carhuaquero a todo el mundo
2605	Agrupación de la región
1935	ASISTENTES
1936	ASISTENTES
1937	ASISTENTES
1938	ASISTENTES
1939	ASISTENTES
1940	ASISTENTES
1941	ASISTENTES
1942	ASISTENTES
1943	ASISTENTES
1944	ASISTENTES
1945	ASISTENTES
1946	ASISTENTES
1947	ASISTENTES
1948	ASISTENTES
1949	ASISTENTES
1950	ASISTENTES

ANALISIS	De salud	Comunidad	Localidad	Nacional	Global
ROBUSTEZ					
ROBUSTEZ MEDIO	1	2	3	2	0
ROBUSTEZ ALTA	0	1	2	2	3
ROBUSTEZ BAJA	1	1	1	0	2
ROBUSTEZ MUY BAJA	0	0	0	0	3
ROBUSTEZ MUY ALTA	2	2	2	1	3
ROBUSTEZ ALTA	0	2	2	1	2
ROBUSTEZ BAJA	0	1	3	3	

Vista del taller en la localidad de Carhuaquero.

# Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática en la cuenca del río Ronquillo

Diana Ruiz<sup>1\*</sup> y Alejandra Martínez<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

Con el fin de evaluar la percepción que tiene la población de la cuenca del río Ronquillo acerca de los impactos del cambio climático y otros peligros geofísicos en sus medios de vida, se aplicó la metodología de "Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática" (CVCA, por sus siglas en inglés) adaptada<sup>2</sup>,

con una muestra de la población asentada en la cuenca. Al ser un proceso participativo y multiactor, esta metodología ofrece un marco para el diálogo al interior de las comunidades, entre ellas, autoridades, investigadores y actores diversos. Los resultados proporcionan una base sólida para la identificación

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú; \*druiz@igp.gob.pe.

<sup>2</sup> La adaptación de la metodología consiste en la inclusión de otros eventos geofísicos en la identificación y análisis, incluyendo inundaciones, deslizamientos, sismos, etc.

de estrategias prácticas para facilitar la adaptación al cambio climático y otros peligros geofísicos basada en la comunidad.

## METODOLOGÍA

La metodología de Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática (CVCA, por sus siglas en inglés) nos ayuda a entender las implicancias del cambio climático para las vidas y medios de vida de la población, combinando el conocimiento local con la información científica sobre el clima, este proceso permite que la población entienda mejor los riesgos climáticos y estrategias de adaptación. Esta metodología ofrece un marco para el dialogo con las comunidades y otros actores. El desarrollo del CVCA consistió en la aplicación de las siguientes herramientas participativas:

- Mapa de amenazas, el cual fue elaborado participativamente en papelógrafos, y que permite la identificación de las características geográficas específica (ríos, quebradas, cerros, centros poblados, etc.), los principales recursos y medios de vida con que la comunidad cuenta.
- Calendario estacional, herramienta que permite representar de forma gráfica y simplificada, los principales acontecimientos y actividades significativas para la comunidad durante los meses del año. Para desarrollar esta herramienta participativa, se grafica en un papelógrafo los meses del año en el eje horizontal, y los acontecimientos o actividades significativas para la comunidad en el eje vertical. Esta herramienta permite comprender feriados, festividades, temporadas de lluvias, sequías, inundaciones u otros fenómenos climáticos, pero también entender las estrategias de subsistencia de la comunidad ante estos eventos.
- Cronología histórica, herramienta que consiste en elaborar una matriz donde los participantes ubican cronológicamente los eventos pasados de importancia recordados. Estos comprenden: amenazas a gran escala y sus efectos, cambios de uso de la tierra, cambios

en la administración y organización, y principales acontecimientos políticos

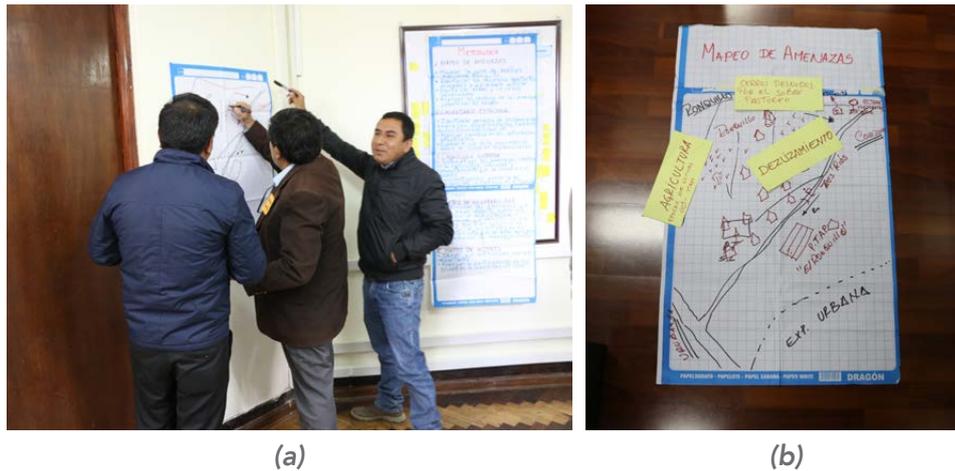
- Matriz de vulnerabilidad, herramienta que permite determinar las amenazas que tienen mayor impacto sobre los principales recursos y poder identificar las estrategias de afrontamiento. Con dicha información se elabora una matriz priorizando los recursos y amenazas más importantes, las que se califican cualitativamente: si el valor es cero, la influencia de las amenazas sobre los recursos es nula; si el valor es uno, la influencia es baja; dos para las de influencia media y tres para los de influencia alta.
- Mapeo de actores, que permite conocer las entidades e instituciones que se relacionan directa e indirectamente a través de proyectos o actividades en la zona de interés.

El CVCA se aplicó en dos niveles distintos: nivel comunal, en el caserío Ronquillo, centro poblado Chamis y sus caseríos Carhuaquero y Cushunga; y nivel autoridades trabajando con el Gobierno Regional de Cajamarca (GORE) y la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Con fines estrictamente metodológicos a continuación se presentan los resultados diferenciados por nivel

## NIVEL AUTORIDADES

### Mapa de amenazas

A nivel del Gobierno Regional de Cajamarca, las autoridades que participaron en la elaboración del mapa de amenazas de la cuenca Ronquillo identificaron que es una zona con un rico ecosistema que debe ser cuidado, y una de las principales amenazas identificadas es el deslizamiento de tierra de tres sectores: Urubamba, Ronquillo y Corisorgona, de acuerdo a los estudios realizados por INDECI, los que dieron como resultado que dichos sectores deben ser considerado como un área de protección ecológica con un manejo forestal intangible, que implica básicamente impedir la ocupación poblacional por el nivel de riesgo muy alto en el que se encuentra (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de amenazas del GORE Cajamarca – cuenca Ronquillo.  
Fuente: Taller del CVCA

En cuanto al deslizamiento como peligro de geodinámica externa, los especialistas del GORE Cajamarca identificaron que los factores desencadenantes son las lluvias que se concentran con fuerte intensidad en periodos cortos de tiempo, el pastoreo extensivo en laderas, y la escasa cobertura

vegetal. La población se dedica al pastoreo de ovejas, caprino, equino y en la parte más alta vacuno; sin embargo, no existe una asistencia técnica para el mejoramiento de pastos, la cual genera una carga animal que excede la cantidad de soporte que tiene el suelo.



**Figura 2.** Mapa de amenazas de la Municipalidad Provincial de Cajamarca – cuenca Ronquillo.  
Fuente: Taller del CVCA

En cuanto al clima, las autoridades del gobierno regional identificaron que son las heladas las que afectan los cultivos que se encuentran en las laderas; asimismo que las temporadas de lluvias son cada vez más irregulares. Las lluvias se dan entre los meses de octubre a mayo; sin embargo, existe una intermitencia con días soleados, esto genera la aridez en los suelos en el periodo de la estación húmeda<sup>3</sup>. La consecuencia de la falta de lluvias afecta a los agricultores, quienes

solo pueden realizar una campaña agrícola al año, por lo que el periodo de siembra se realiza en la época de lluvias (octubre – mayo). Como gobierno regional no se tiene una intervención directa en la zona de la cuenca Ronquillo, pero se trabaja a través de las plataformas de grupos técnico en gestión de riesgo de desastres; además de

<sup>3</sup> Entrevista a especialista de GORE de Cajamarca.

realizar planes de prevención y reducción de vulnerabilidad y planes de contingencia para que puedan atender el peligro identificado y evaluar el nivel de riesgo para posteriormente implementar y coordinar con las instituciones de primeras respuestas frente a un desastre.

Por su parte, las autoridades de la Municipalidad Provincial de Cajamarca identificaron amenazas similares que el GORE, identificando como zonas vulnerables frente a deslizamientos, el sector de Urubamba debido a la falta de vegetación. Sin embargo, a pesar que el INDECI declaró a dicho sector como zona vulnerable, el municipio la considera como zona de expansión urbana.

Debido a que las actividades productivas de agricultura y ganadería son practicadas por la población asentada en la cuenca Ronquillo solo a nivel de autoconsumo, muchas de las familias han migrado a la ciudad en búsqueda de nuevas oportunidades laborales abandonando muchas veces a la agricultura como actividad principal de subsistencia. Algunas familias están trasladándose a la parte alta de la cuenca para sembrar algunos cultivos como maíz, habas y hortalizas, cultivos que usualmente no eran cultivados en esas zonas y sin asistencia técnica adecuada para su desarrollo. La amenaza identificada para esta situación es el déficit

de agua para los nuevos cultivos, pues no se cuenta con la infraestructura adecuada para el almacenamiento de agua que permita un mejor aprovechamiento del recurso en épocas de alta precipitación.

### Calendario estacional para el ámbito de intervención

El Gobierno Regional de Cajamarca, entre las actividades estacionales señaladas, registra diecisiete (17) festividades, que incluyen las fiestas patronales de cada provincia, fiestas patrias, aniversarios y los carnavales —una de las principales fiestas celebradas en Cajamarca— que genera visitas de turistas nacionales e internacionales, esta celebración se da entre los meses de enero y febrero. Otra actividad identificada fue la feria FONGAL en el mes de julio, correspondiente a una feria agropecuaria, agroindustrial, artesanal, folclórico y turístico, es una de las ferias más importantes del norte del Perú.

En cuanto al clima los participantes mencionaron que los incendios forestales y bajas temperaturas son eventos temporales que solo ocurren en determinados periodos del año. En el cuadro 1 se presenta la matriz consolidada de todas las experiencias de las autoridades del Gobierno Regional de Cajamarca.

Cuadro 1. Calendario estacional de Cajamarca a nivel regional

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set
Carnaval de Cajamarca		X							
Corpus Cristi						X			
Fiesta de los muertos (todos los Santos)									
Aniversario de Cajamarca	X								
Semana Santa			X	X					
Fiestas de las cruces					X				
Fiesta de San Juan Bautista (Cutervo y Chota)						X			
Fiestas Patrias							X		
Santa Rosa de Lima								X	
Fiesta de Huanchaco (Baño del Inca)									X
Inmaculada Concepción (La Encañada)									
Fiesta Virgen del Carmen (Celendín)								X	
Fiesta de Señor de Huamantanga									X
Fiesta de Virgen del Rosario (Cajabamba)									
Fiesta de San Mateo (Contumaza)									X
Fiesta de San Juan (San Pablo)						X			
FONGAL							X		

Visitas de promociones escolares										X	X
Temporada de lluvias	X	X	X	X	X						
Temporada de incendio											
Temporadas de bajas temperaturas								X	X		
Inundaciones	X	X	X								
Huaycos	X	X	X								
Deslizamientos	X	X	X	X	X						

*Fuente:* Testimonio de las autoridades del GORE en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Para el caso de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, se registraron once (11) actividades que solo ocurren en determinados periodos del año como las festividades y los eventos climáticos. En el Cuadro 2 se consolidan todos los eventos o actividades que realizan anualmente, donde además se observa que la mayoría de las actividades se desarrolla en los meses de febrero a marzo, lo que coincide con las fiestas de los carnavales donde existe una gran afluencia de turistas.

En cuanto a los eventos relacionados al clima, se considera que durante y alrededor de la temporada de lluvias (considerando diciembre a mayo), se producen deslizamiento e inundaciones en varios lugares de Cajamarca, siendo también las fechas donde los agricultores aprovechan para sembrar sus cultivos; asimismo se identificó la época donde escasean las lluvias (periodo de junio a noviembre), motivo por el cual se realiza una sola campaña agrícola.

**Cuadro 2.** Calendario estacional de la provincia de Cajamarca.

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Carnaval		X	X									
Corpus Cristi						X						
Todos los santos										X		
Semana Santa				X								
Año nuevo	X											
Lluvia	X	X	X	X	X							X
Escases de agua						X	X	X	X			
Turismo		X	X									
Deslizamiento e inundaciones			X									
Siembra										X	X	X
Cosecha				X	X	X						

*Fuente:* Testimonio de las autoridades provinciales en el calendario estacional durante el taller CVCA.

### Identificación de hechos históricos (cronología histórica)

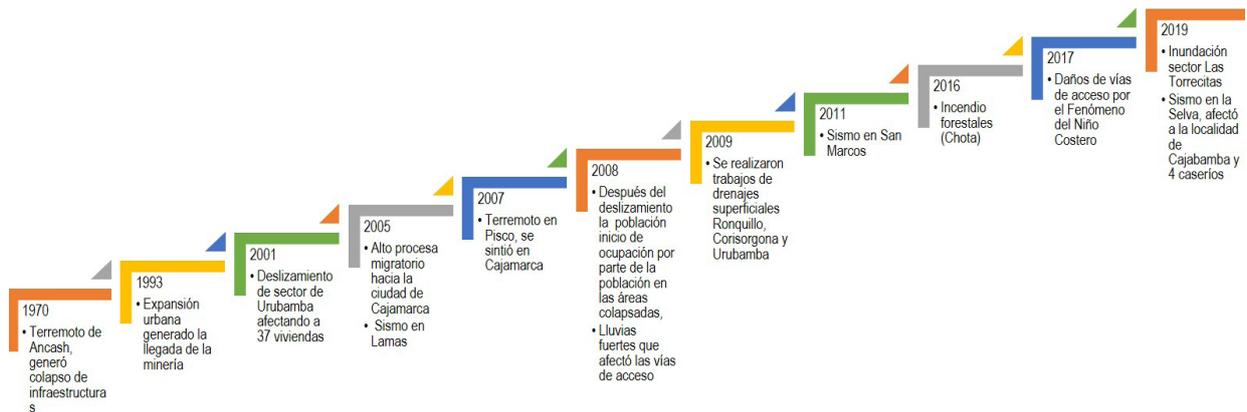
Las autoridades regionales identificaron el evento sísmico de 1970 ocurrido en Ancash, que también afectó a Cajamarca donde se derrumbó la torre y el campanario de la Catedral. (Batalla, 2019). Sobre eventos socioeconómicos de recordación para las actuales autoridades, está la generación de una fuerte expansión urbana desde 1993 a causa de la entrada en producción de la mina de oro Yanacocha, lo que marcó el inicio de

la expansión de la producción minera en Cajamarca, expansión que se mantuvo hasta el 2005. El alto proceso migratorio trajo como consecuencia la invasión de amplias zonas intangibles para la construcción de viviendas.

En el año 2001 se produjo un deslizamiento en el sector de Urubamba, el cual habría destruido treinta y siete (37) viviendas. Posteriormente, este deslizamiento fue identificado y estudiado por INDECI y a pesar que la institución a partir del 2008 sugiere no habitar dicho sector, la población construyó más viviendas. Motivo por

el cual se realizaron proyectos en los sectores de Ronquillo, Corisorgona y Urubamba para evitar futuros deslizamientos, se construyeron drenajes superficiales con la finalidad de captar la precipitación pluvial y drenar rápidamente de la zona con el fin de evitar su infiltración al subsuelo.

En los años posteriores, los sismos ocurridos en Lamas, Pisco y San Marcos se sintieron en Cajamarca afectando algunas viviendas, y el último sismo ocurrido en la región de la selva afectó a cuatro (4) caseríos y la carretera de Cajabamba – Cajamarca. (Redacción multimedia, 2019), según sostienen las autoridades presentes en el taller. (Figura 3)



**Figura 3.** Cronología histórica del Gobierno Regional de Cajamarca.

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

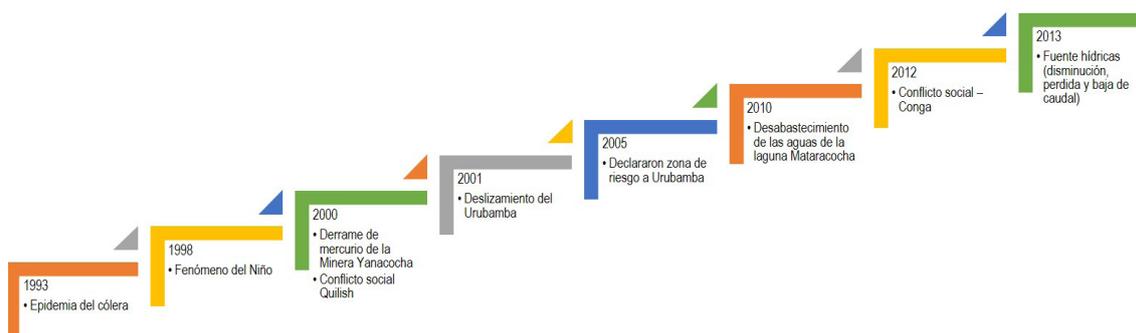
Para el caso de las autoridades de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, los hechos históricos más relevantes identificados, ocurrió en el año 1993, donde se produjo en la ciudad de Cajamarca la epidemia del cólera, el cual a nivel de Perú tuvo una baja tasa de letalidad (representaba el 1% de enfermos) pero en las zonas rurales como en Cajamarca llegó al 10%, lo que fue la tasa de letalidad más alta del país (Maguiña, Seas, Galán y Santana, 2010).

En cuanto a fenómenos climáticos, identificaron el año 1998 debido a la ocurrencia del fenómeno El Niño, que ocasionó inundaciones y afectó las vías de acceso e infraestructura de las viviendas (ENFEN, 2012).

Otro evento que mencionaron los participantes fue el ocurrido en la localidad de Choropampa, cuando se derramaron 150 kg de mercurio inorgánico de la MYS

(Minera Yanacocho S.A), según la minera, obtenido como subproducto de la extracción del oro. (Chacón ,2003). Debido a dicho evento, ese mismo año la población se opuso a que la minera realizara trabajos en el Cerro Quilish, por temor a que se vieran afectadas sus fuentes de aguas. El año 2012 se produjo otro conflicto con la Minera Yanacocho por el Proyecto Minero Conga.

Al igual que el gobierno regional, las autoridades provinciales mencionaron que en el año 2001 se produjo un deslizamiento del sector de Urubamba en la cual afectó a las familias de la zona sin pérdidas de vidas humanas. También se identificó que para el 2010, la laguna Mataracocho comenzó a disminuir sus fuentes de agua, asimismo para el año 2013 identificaron una nueva disminución de las fuentes hídricas de Cajamarca según mencionan las autoridades presentes en el taller (Figura 4).



**Figura 4.** Cronología histórica de la provincia de Cajamarca.

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

### Matriz de vulnerabilidad

Las autoridades regionales identificaron y priorizaron en una matriz de vulnerabilidad, siete (7) recursos de mayor importancia, y

siete (7) amenazas de mayor impacto. Al ser contrastadas se obtuvo que el recurso más vulnerable—de acuerdo a esta herramienta—, es la agricultura y la amenaza de mayor impacto es la falta de lluvias (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Matriz de vulnerabilidad del Gobierno Regional de Cajamarca.

Amenazas	Deslizamiento	Precipitaciones pluviales	Falta de lluvias	Sismo	Heladas y bajas temperaturas	Vientos fuertes	Inundación	Total
Recursos								
Hídrico	3	0	2	0	0	0	0	5
Agricultura	3	3	3	2	3	2	3	21
Ganadería	2	2	3	0	2	0	2	11
Minería	0	2	0	0	0	0	0	2
Apicultura	0	1	3	0	0	0	0	4
Turismo	2	2	0	1	0	0	2	7
Forestal	2	2	2	0	1	2	2	11
Total	12	12	13	3	6	4	9	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

En cuando a las autoridades provinciales, priorizaron cuatro (4) recursos de mayor importancia y seis (6) amenazas de mayor impacto, obteniéndose que el recurso más vulnerable es el recurso hídrico y la amenaza

de mayor impacto es la falta de lluvias (Cuadro 4). En comparación con el cuadro 3, tienen la misma percepción que la principal amenaza que impacta a la población: la falta de lluvias.

**Cuadro4.** Matriz de vulnerabilidad del Municipalidad Provincial de Cajamarca.

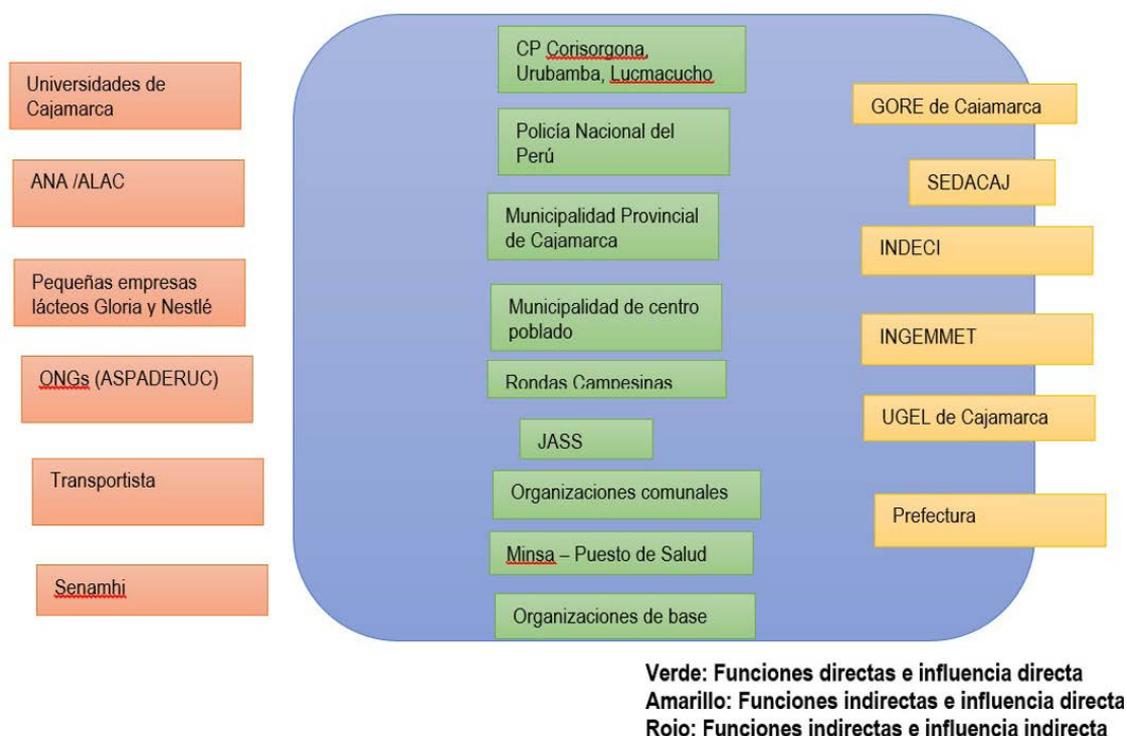
Amenazas	Falta de lluvias	Precipitaciones	Antrópicos de fajas marginales	Migraciones y emigraciones	Uso de agroquímicos	Residuos sólidos	Total
Hídricos	2	3	3	2	1	3	14
Suelos (usos)	3	2	0	2	1	2	10
Biodiversidad	2	1	0	1	1	1	6
Personas	2	1	0	2	0	2	7
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

### Identificación de actores

Las autoridades regionales y provinciales identificaron a las instituciones que trabajan y se relacionan con el área de estudio. El diagrama realizado ubica al área de estudio de la cuenca Ronquillo (rectángulo azul),

donde las instituciones son colocadas en su interior si sus funciones e influencia son directas (rectángulo verde), al borde del rectángulo azul las instituciones que tiene funciones indirectas e influencia directas, y en el exterior del mismo si sus funciones no son directas, tal como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Mapeo de actores según el gobierno local de la cuenca del río Ronquillo.

**Fuente:** Taller del CVCA.

## NIVEL COMUNAL

### Mapa de amenazas

Los participantes del centro poblado Chamis identificaron como una de sus principales amenazas a la falta de terrenos de cultivos.

La gran mayoría de la población siembra para autoconsumo, y en terrenos cercanos a sus viviendas, a través del sistema de rotación de cultivos, siendo los principales: papa, maíz, trigo, oca, etc. Otra amenaza identificada fue la escasez de recursos hídricos, pues existen quebradas secas y ríos que aumentan su caudal únicamente en temporada de lluvias (Figura 6).



(a)



(b)

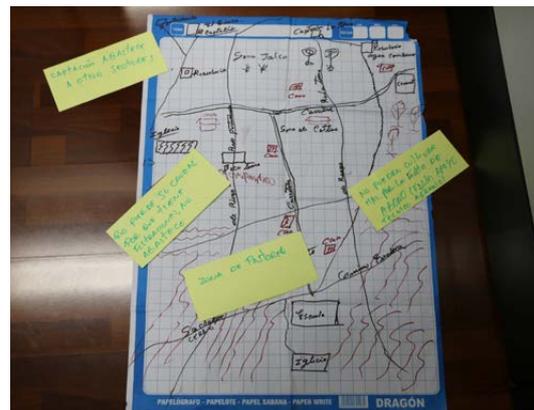
Figura 6. Mapa de amenazas del centro poblado Chamis.  
Fuente: Taller del CVCA.

En lo que respecta al caserío Carhuaquero, también identificaron a la escasez del agua como principal amenaza, pues es una situación que afecta a sus cultivos, animales y sus pastos. También reconocen como riesgo la falta de una carretera, ya que no pueden sacar

sus productos agrícolas y forestales fuera de la localidad. Los pobladores mencionaron que necesitan apoyo técnico en la parte agrícola, pues en los últimos años sus cultivos han sido afectados por plagas.



(a)



(b)

Figura 7. Mapa de amenazas del caserío Carhuaquero.  
Fuente: Taller del CVCA.

Los vecinos del caserío de Cushunga también manifestaron que su principal amenaza es la escasez del recurso agua, afectando a sus cultivos y a la crianza de sus animales. La producción agrícola ha disminuido, y desconocen las razones, por lo que

manifiestan que necesitan de apoyo técnico agropecuario. Otra amenaza identificada es la falta de apoyo de las instituciones del Estado, manifestando que no tienen acceso a programas sociales o proyectos.



Figura 8. Mapa de amenazas del caserío Cushunga. Fuente: Taller del CVCA.

Los pobladores del caserío Ronquillo consideran que la falta de recurso hídrico es la mayor amenaza que impacta en el desarrollo de sus actividades cotidianas, tanto vinculadas a la agricultura como a las domésticas. En Ronquillo se encuentra la planta de tratamiento de agua potable con el mismo nombre; sin embargo, el caserío no se beneficia debido a que su captación es para el abastecimiento de la ciudad de Cajamarca.

Otra amenaza identificada por el caserío Ronquillo es el mal estado de la vía de acceso, dificultando el traslado de la población —sobre todo en situaciones de emergencia y durante la época de lluvias—. Los participantes del taller manifestaron que perciben un abandono de las instituciones del Estado debido al poco apoyo que les brindan, identificando este abandono como una amenaza para la población de Ronquillo.

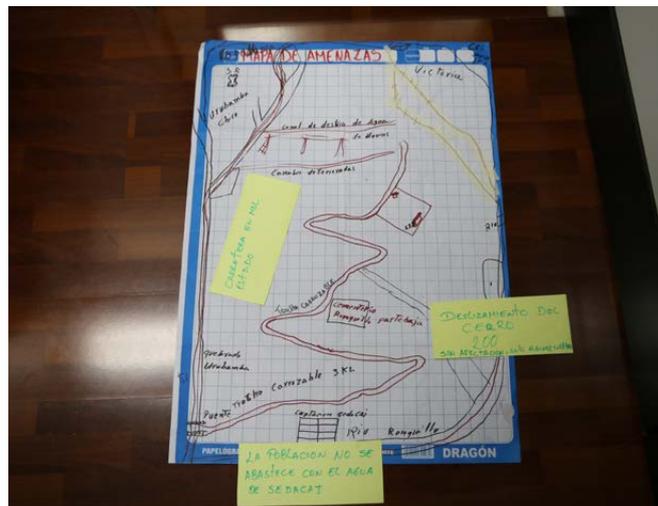


Figura 9. Mapa de amenazas del caserío Ronquillo. Fuente: Taller del CVCA.

### Calendario estacional

Las actividades señaladas por los participantes del centro poblado Chamis incluyeron principalmente, las actividades agrarias: siembras y cosechas de sus principales productos como la papa, maíz, cebada y trigo. Otras actividades que ocurren en determinados periodos del año son las fiestas patronales que se consolidaron en una única matriz presentada en el Cuadro 5.

Otros eventos identificados relacionados al clima, fueron la falta de lluvias entre los meses de junio a agosto; sin embargo, señalaron que aún pueden abastecerse de agua de la laguna Mataracoha, gracias a las filtraciones de sus aguas, pero a partir de agosto y hasta setiembre se presenta escasez de agua debido a que sus reservas se van agotando.

**Cuadro 5.** Calendario estacional del centro poblado de Chamis.

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Falta de lluvia						X	X	X				
Escasez de agua								X	X			
Siembra de papa	X						X	X	X	X	X	X
Siembra de maíz										X	X	
Siembra de cebada y trigo	X											X
Cosecha de papa	X	X	X	X	X	X						
Cosecha de maíz					X	X	X					
Cosecha de cebada y trigo						X	X	X				
Fiestas de la cruces					X							
Fiesta de San Juan						X						
Fiestas patrias							X					
Fiestas todos los santos											X	

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Las actividades señaladas por los pobladores de Carhuaquero incluyeron tres (3) eventos referentes al clima, cuatro (4) actividades agrícolas y tres (3) actividades relacionadas a festividades: fiestas patrias, día del campesino y el aniversario de la iglesia adventista.

Los participantes manifestaron que en años anteriores celebraban otras fiestas vinculadas al calendario católico, pero en la actualidad no lo hacen debido a que la gran mayoría

de la población profesa otras religiones. En cuanto a los eventos climáticos manifestaron que hace dos (2) años aproximadamente hay un desabastecimiento de agua debido a la falta de lluvia generando la disminución del caudal del río, afectando directamente a sus cultivos, su uso doméstico, así como a la ciudad Cajamarca. Se presenta la matriz consolidada a partir de la propia experiencia de los lugareños en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Calendario estacional caserío Carhuaquero.

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Lluvias	X	X	X	X								X
Vientos fuertes						X	X					
Heladas		X					X				X	X
Cuaresma			X	X								
Cultivos						X	X	X				
Siembras									X		X	
Tiempo de cosechas				X	X	X	X					
Aniversarios de la Iglesia Adventista										X		
Fiestas patrias							X					
Día del campesino						X						

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Los vecinos del caserío Cushunga identificaron seis (6) eventos referentes a sus actividades agrícolas, cuatro (4) eventos relacionados al clima y cinco (5) actividades referentes a las festividades como los carnavales, fiestas patrias, navidad y año nuevo.

Los participantes mencionaron que en años

anteriores empezaban a sembrar en los meses de noviembre –caso de la cebada-; sin embargo, en la actualidad se siembra a partir de los meses de octubre, pues si se demoran en sembrar se puede considerar que es una cosecha perdida, como se puede ver en la matriz consolidada del Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Calendario estacional del caserío Cushunga.

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Siembra de cebada y trigo							X	X	X		X	X
Cosecha de cebada y trigo						X	X	X				
Siembra de olluco, habas y oca									X	X		
Cosecha de olluco, habas y oca					X							
Siembra de papa						X						
Cosecha de papa			X	X								
Lluvias									X	X	X	X
Heladas											X	
Falta de lluvias					X	X	X	X	X	X		
Granizadas				X								
Aniversario de I.E Cushunga						X						
Fiestas patrias							X					
Carnavales		X										
Año nuevo	X											
Navidad												X

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

De las actividades señaladas por los participantes del caserío Ronquillo, sobresalen las actividades agrícolas como las siembras y cosechas de sus principales productos: cereales, legumbres y tubérculos. Otras actividades que solo ocurren en determinados periodos del año son las fiestas patronales,

aniversarios y el carnaval, que es la fiesta más importante de Cajamarca. En la matriz también se pueden identificar los eventos climáticos como las lluvias, vientos, radiación solar a partir de todas las experiencias de los participantes (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Calendario estacional del caserío Ronquillo.

Actividad/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Sembríos de papa				X	X	X	X		X			
Sembríos de lenteja	X										X	X
Sembríos de trigo	X											X
Sembríos de alverja			X								X	
Sembríos de cebada											X	X
Sembríos de avena	X	X										
Sembríos de maíz										X	X	
Sembríos de ocas							X	X				
Sembríos de ollucos							X					
Sembríos de arboles	X	X										
Cosechas de lenteja, cebada							X	X				
Cosechas trigo, papa							X	X				
Aniversario de la escuela			X									
Día del campesino						X						
Fiestas patrias							X					
Santa Rosa de Lima								X				
Señor de los Milagros										X		
Fiestas de carnaval		X										
Lluvia	X	X	X	X	X	X						X
Lluvias fuertes	X	X	X									
Pequeños derrumbes	X	X	X									
Vientos fuertes							X	X				
Radiación fuerte							X	X				
Helados										X	X	
Escasez de agua							X	X	X	X	X	

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Adicionalmente se registró que la escasez de agua se produce desde el mes de julio hasta noviembre. En los meses de julio y agosto, además de no ocurrir lluvias, también señalan que la radiación solar es muy elevada y los vientos son muy fuertes, afectando también sus actividades agrícolas.

### **Cronología histórica**

Los hechos históricos más relevantes que los participantes de la población de Chamis mencionaron inician en 1975, época en que las mujeres comenzaron a asistir a las escuelas, después de 10 años (1985) se implementó el proyecto piloto “Ecosistema Andino”, y en ese mismo año las familias de la precooperativa agraria de servicios Chamis—que pertenecía a la Granja Porcón— se separaron para conformar la comunidad de Chamis. Para el año 1995 enfrentaron un conflicto por las titulaciones de sus tierras.

En el año 1998 la población fue afectada por el fenómeno El Niño, que generó el desborde del río y este a su vez ocasionó la muerte de animales. Un año después, en 1999, sus cultivos fueron afectados por la plaga de la ranca, perdiendo toda su campaña agrícola.

Sobre eventos de geodinámica externa, los pobladores indicaron que, en el año 2001, el sector llamado Urubamba – Ronquillo fue afectado por un deslizamiento del cerro, el que afectó varias viviendas.

Desde el año 2016 y hasta la actualidad se implementó el proyecto Haku Wiñay “Vamos a Crecer” a través de FONCODES, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus pobladores a través de capacitaciones sobre emprendimiento del grupo familiar y apoyo con proyectos de huertos familiares y crianza de animales menores como cuyes, gallinas y patos (Figura 10).

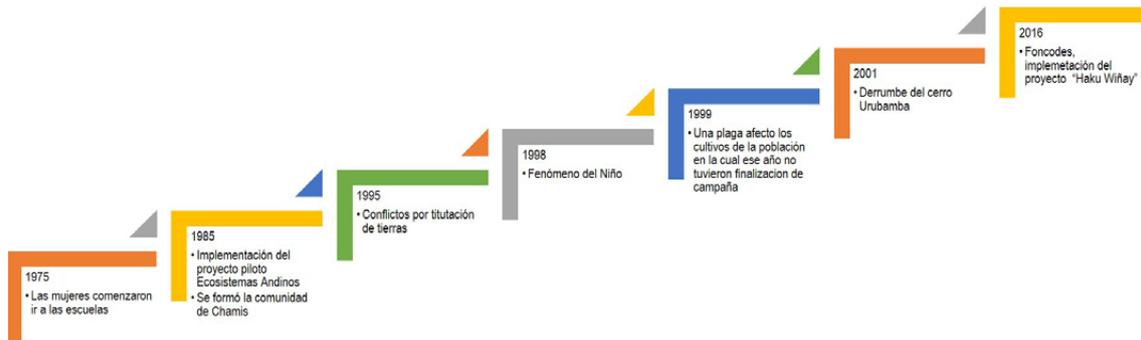


Figura 10. Cronología histórica del centro poblado de Chamis.

Fuente: Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Para los pobladores de Carhuaquero, los hechos históricos más relevantes vinculados al tiempo y clima ocurrieron durante el año 1985, cuando se produjeron fuertes lluvias, al punto en que hubo pérdida de sembríos. En los tres últimos años los cultivos han sido afectados por las heladas y escasez de lluvias, y también sus cultivos frecuentemente fueron atacados por plagas. Actualmente (2019), su producción agrícola ha disminuido.

Sobre conflictos sociales o económicos: en el año 1988 tuvieron conflictos vinculados a los límites con la Cooperativa Agraria

de Trabajadores (CAT) Lullapuquio que pertenece al distrito de Chetilla. En el 2015, se produjo una migración del campo a la ciudad, motivados por las oportunidades laborales y poder generar ingresos económicos.

Sobre eventos vinculados a sismicidad y geodinámica externa: el sismo ocurrido en la selva peruana afectó a la zona, y finalmente indicaron que en el año 2008 ocurrió un derrumbe en la misma localidad, cuando el cerro tapó una matriz de agua afectando a la población (Figura 11).

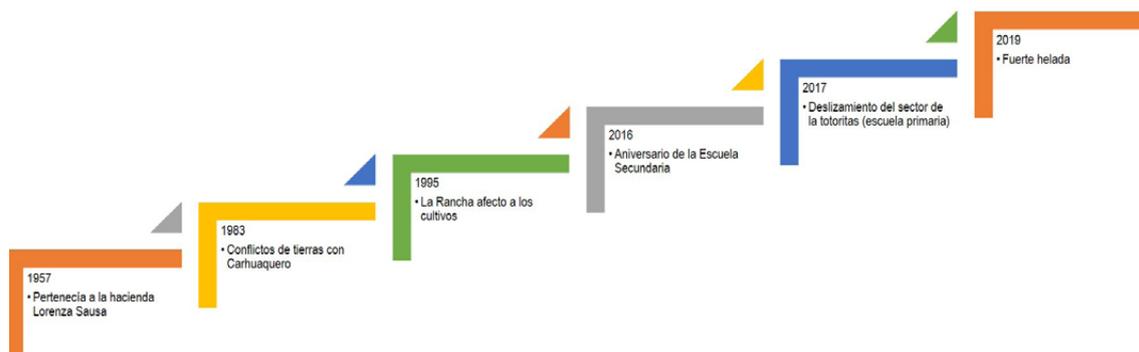


Figura 11. Cronología histórica del caserío Carhuaquero.

Fuente: Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Entre los eventos relevantes sobre la problemática socioeconómica que los pobladores de Cushunga mencionaron, sobresale el año 1957, cuando sus tierras formaban parte de la hacienda del Señor Lorenzo Sauce Iglesias. En el año 1983 tuvieron un conflicto de tierras con el caserío Carhuaquero. También indicaron como fecha importante que desde el año 2016 celebran el aniversario de la institución educativa, a pesar que viene funcionando desde hace 63 años.

Sobre eventos vinculados a la agricultura, los participantes al taller indicaron que en el año 1995 la rancho afecto a sus cultivos; y este último año (2019), una fuerte helada está afectando a sus cultivos. Sobre eventos de geodinámica externa, en el año 2017 en el sector llamado Totoritas se produjo un deslizamiento ocasionado por las fuertes lluvias, afectando a una vivienda y puso en riesgo a la escuela primaria (Figura 12).

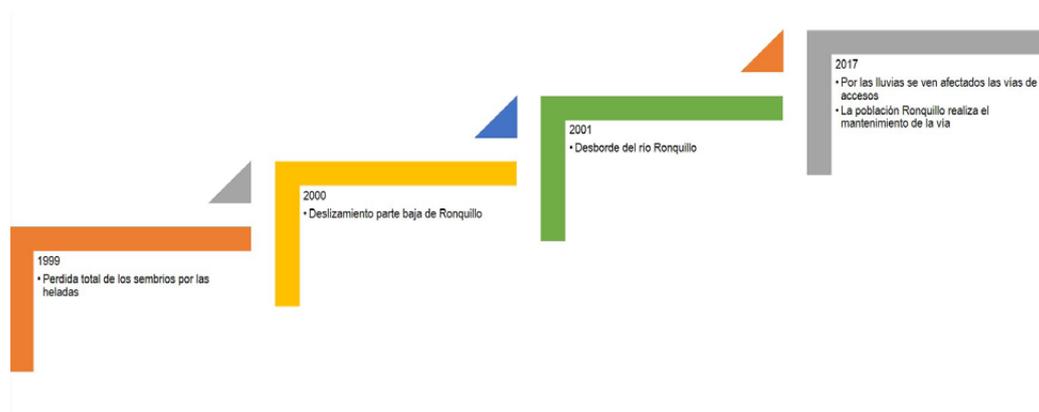


**Figura 12.** Cronología histórica de caserío Cushunga.

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

Los eventos relevantes que los pobladores del Caserío Ronquillo mencionaron, incluyen en el año 1999 donde la campaña agrícola se perdió debido a las fuertes heladas. El año siguiente (2000) se produjo un deslizamiento de tierra en la parte baja de Ronquillo afectando solo cultivos.

Otro evento que mencionaron fue el desborde del río Ronquillo debido a las fuertes lluvias ocurrido en el año 2001. En el año 2017 –también por las lluvias–, la carretera a Ronquillo se vio afectada, siendo la misma población la que realizó el mejoramiento de esta vía, como se muestra en la Figura 13.



**Figura 13.** Cronología histórica del caserío Ronquillo.

**Fuente:** Testimonio de los participantes en la cronología histórica durante el taller CVCA.

### Matriz vulnerabilidad

Con la información recogida se elaboró la matriz de vulnerabilidad, priorizando los recursos más importantes y amenazas que tienen mayor impacto, de acuerdo a la

metodología ya indicada. Para el caso de los recursos, fueron agrupados de acuerdo a importancia: suelos, biodiversidad, pastos, agua, sus mismos pobladores, y actividades agrícolas, ganaderas, forestales y minería. Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Recursos más importantes identificados según la matriz de vulnerabilidad.

Recursos Naturales	Recursos Humanos
Pastos	Pobladores
Agua	Agricultura
	Ganadería
	Forestal
	Artesanía
	Crianza de animales menores

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

Para el caso de las amenazas se agruparon las de mayor impacto: las heladas, radiación solar, deslizamiento, desnutrición, falta de

apoyo de las instituciones, contaminación, etc. En el cuadro 10 se presentan clasificadas según tipos de amenazas.

**Cuadro 10.** Las amenazas que tienen más impactos identificados según la matriz de vulnerabilidad.

Amenazas naturales	Amenazas sociales	Amenazas antrópicas
Heladas	Desnutrición	Contaminación
Fuertes vientos	Falta de apoyo de la instituciones	Falta de pastos
Falta de lluvias	Falta de economía	Falta de fuentes agua
Radiación solar	Enfermedades respiratorias	
Granizada	Puestos de salud	
	Falta de vías de acceso	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

En el taller con el centro poblado de Chamis se priorizaron cinco (5) recursos de mayor importancia y cuatro (4) amenazas que generan mayor impacto. De acuerdo a la

percepción de la población el recurso más vulnerable es la agricultura, y la amenaza de mayor impacto es la falta de lluvias y la falta de recursos económicos (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Matriz de vulnerabilidad del centro poblado Chamis.

Amenazas	Falta de agua	Falta de lluvia	Falta de economía	Radiación solar	Total
<b>Recursos</b>					
Agricultura	3	3	3	2	11
Forestal	2	2	0	2	6
Ganado (ovejas, vacas, toros)	2	2	3	2	9
Población de Chamis	2	2	3	3	10
Pastos	2	3	3	2	10
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

En el caserío Carhuaquero se priorizaron siete (7) recursos de mayor importancia y cinco (5) amenazas de mayor impacto, identificándose como recurso más vulnerable a los habitantes

del caserío de Carhuaquero, y como amenaza de mayor impacto a la falta de apoyo de las instituciones (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Matriz de vulnerabilidad del caserío de Carhuaquero.

Amenazas	Desnutrición	Contaminación	Heladas	Radiación solar	Falta de apoyo	Total
<b>Recursos</b>						
Recursos hídrico	1	2	3	2	0	8
Forestal	0	1	2	1	3	7
Crianza de cuyes y aves	1	1	1	0	2	5
Artesanía	0	0	0	0	3	3
Pobladores	2	2	2	1	3	10
Ganadería	0	2	2	1	2	7
Agricultura	0	1	3	1	2	7
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

En el caserío Cushunga se priorizaron cuatro (4) recursos de mayor importancia y cinco (5) amenazas que generan mayor impacto. Así, desde la percepción de la población,

el recurso más vulnerable es la actividad ganadera y las amenazas de mayor impacto son la falta de agua y la granizada (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Matriz de vulnerabilidad del caserío Cushunga.

Amenazas	Falta de agua	Falta de pastos	Heladas	Falta de apoyo del gobierno e instituciones	Granizada	Total
<b>Recursos</b>						
<b>Agricultura</b>	3	0	3	3	3	12
<b>Ganadería</b>	3	3	2	3	3	14
<b>Población</b>	3	3	2	2	3	13
<b>Animales menores</b>	3	2	2	2	3	12
<b>Total</b>	12	8	9	10	12	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

Los pobladores del caserío Ronquillo priorizaron tres (3) recursos de mayor importancia y ocho (8) amenazas que generan mayor impacto. Desde la percepción de la población, el recurso más vulnerable es la

misma población que se encuentra asentada en el caserío, y las amenazas de mayor impacto son la falta de lluvia y la falta de fuentes de agua (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Matriz de vulnerabilidad del caserío Ronquillo.

Amenazas	Heladas	Enfermedades respiratorias	Vientos	Falta de lluvia	Falta de fuentes de agua	Falta de vías de acceso	Falta de apoyo de programa sociales y autoridades	Puesto de salud	Total
<b>Recursos</b>									
<b>Agricultura</b>	2	1	2	3	3	2	3	1	17
<b>Pobladores de Ronquillo</b>	2	2	2	3	3	3	3	3	21
<b>Recursos hídricos</b>	0	0	0	3	3	0	2	0	5
<b>Total</b>	4	3	4	9	9	5	8	4	

**Fuente:** Testimonios de los participantes a los talleres del CVCA.

## Identificación de actores

Los participantes a los talleres del CVCA del nivel rural, identificaron a las instituciones que trabajan y se relacionan con ellos. El diagrama realizado ubica al área de estudio —poblaciones asentadas en la cuenca Ronquillo— como rectángulo (rectángulo

azul), donde las instituciones son colocadas en su interior si sus funciones e influencia son directas (rectángulo verde), al borde del rectángulo azul las instituciones que tiene funciones indirectas e influencia directa, en el exterior del mismo si sus funciones no son directas, tal como se muestra en la Figura 14.

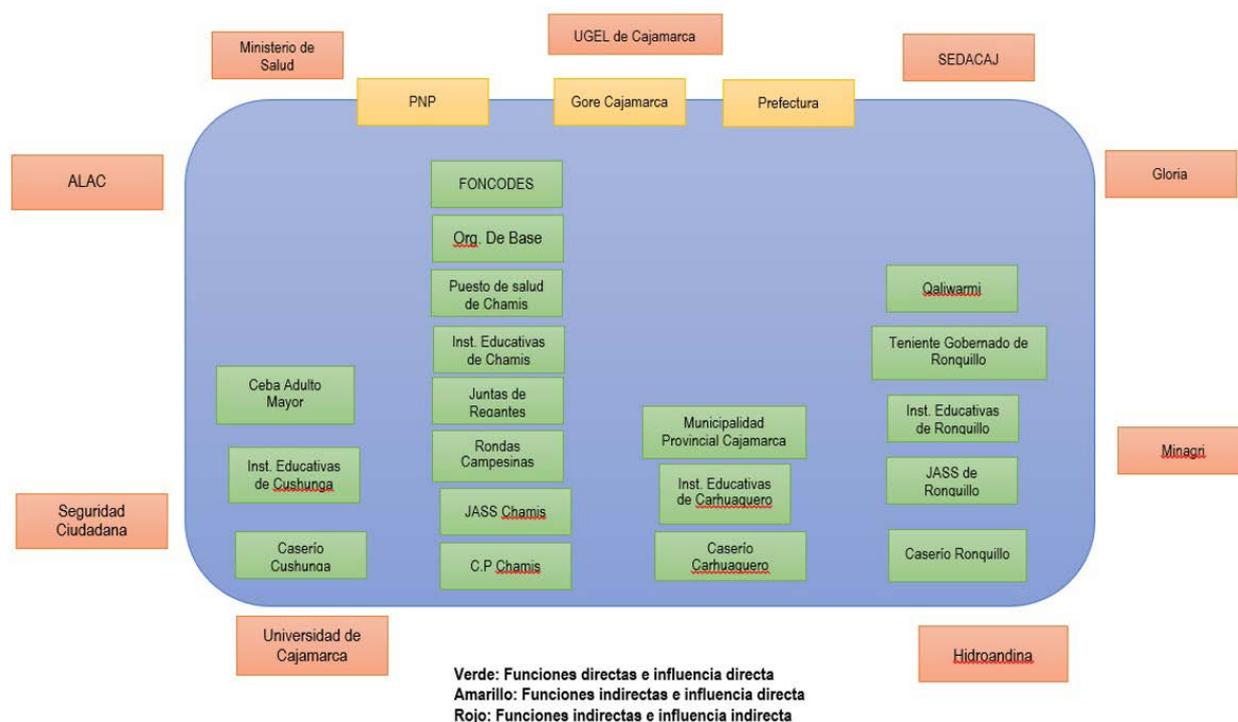


Figura 14. Mapeo de actores de la cuenca Ronquillo.

Fuente: Mapa de actores según la percepción de los participantes a los talleres del CVCA.

## CONCLUSIONES

Las herramientas participativas (mapas de amenazas, calendario estacional, cronología histórica, matriz de vulnerabilidad y mapeo de actores) permitieron identificar los recursos de mayor importancia natural (pastos y el agua) y humanas (pobladores, agricultura, ganadería, forestal, artesanía, crianza de animales menores); así como las amenazas naturales (heladas, vientos fuertes, falta de lluvias, radiación solar y granizo), amenazas sociales (desnutrición, falta de apoyo de las instituciones, falta de recursos y falta de vías de acceso) y amenazas antrópicas (contaminación, falta de pastos y fuentes de agua).

Asimismo, se identificó que los recursos más vulnerables son la agricultura, ganadería y la misma población de las localidades de la cuenca; y las amenazas son la falta de agua (lluvias), economía poco desarrollada y la falta de apoyo de las instituciones del Estado. También se identificaron a los principales actores que influyen directa e indirectamente en el área de estudio, y que la población asentada en la cuenca Ronquillo tiene la percepción general de abandono por las instituciones del Estado, debido a que no están involucradas con las poblaciones vulnerables, considerándose que deberían tener mayor participación.

La principal actividad económica de la cuenca, la agricultura, está tomando un rol pasivo debido a la falta de oportunidades, no hay inversión adecuada ni apoyo técnico, motivo por el cual la actividad es básicamente de autoconsumo. En la ganadería, los niveles productivos son bajos, la crianza es tradicional, se cuenta con razas criollas y la alimentación es con pastos naturales; mientras que, en el mercado, en el mejor de los casos venden la leche a empresas como Gloria, o se realiza un procesamiento primario en queso. Correspondiente a la actividad forestal es poco representativa.

A nivel de gobierno local se identificaron iniciativas y estrategias vinculadas con la temática ambiental y productiva. Asimismo, se identificó la preocupación de las autoridades para prevenir o mitigar el riesgo ante los desastres a través de planes de contingencia y prevención, investigaciones y documentos de planificación; también están concientizando a la población de las potenciales amenazas a los que se encuentran expuestos a través de capacitaciones y charlas.

## REFERENCIAS

Batalla C. (31 de mayo de 2019). 31 de mayo de 1970: El día en que la tierra peruana tembló como nunca. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/31-mayo-1970-dia-tierra-peruana-temblo-noticia-ecpm-640120>.

Chacón, R. (2003). El caso Yanacocha: Crónica de la lucha frente a una contaminación minera inevitable. *Ecología Política*, (26), 51-61. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/1255881.pdf>.

Comité Técnico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). (2012). *Definición operacional de los eventos el Niño y la Niña y sus magnitudes en la costa del Perú*. Lima-Recuperado de [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_comenf\\_not\\_tecni\\_enfen\\_09abr12.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_not_tecni_enfen_09abr12.pdf)

Maguiña C., Seas C., Galán E. y Santana J. (2010). Historia del cólera en el Perú en 1991. *Acta Médica Peruana*, 27(3), 212-217. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1728-59172010000300011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000300011&lng=es&tlng=es).

Redacción Multimedia (26 de mayo de 2019). Así quedó la carretera Cajabamba-Cajamarca tras terremoto de magnitud 8.0 en Loreto. *Diario Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/asi-queda-carretera-cajabamba-cajamarca-terremoto-75-loreto-video-fotos-peru-sismo-889162/>.



*Vista de cárcabas en la localidad de Ronquillo.*



*Vista de especie de flora en la cuenca del río Ronquillo.*





**Instituto Geofísico del Perú**

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,  
Ate, Lima, Perú

Central Telefónica: (511) 317 2300

<http://www.igp.gob.pe>

 <http://www.facebook.com/igp.peru>

 [http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)

 [https://www.youtube.com/c/igp\\_videos](https://www.youtube.com/c/igp_videos)

ISBN: 978-612-47606-7-9



9 786124 760679