

## Procesos aluvionales o flujos densos en el río Chuscha (Cafayate, Salta-Argentina): posibles causas y consecuencias

*Ferreira Padilla S. E.<sup>1,2 y 3</sup> y López de Azarevich V.<sup>3 y 4</sup>*

<sup>1</sup> Consejo de Investigación, <sup>2</sup> CECRIM (Centro de Estudios de Cuencas y Ríos de Montaña) Facultad de Ciencias Naturales, <sup>3</sup> Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina. <sup>4</sup> CONICET

Mail de contacto: [silferreiral1@gmail.com](mailto:silferreiral1@gmail.com)

### RESUMEN

El río Chuscha es un torrente de montaña, con sus nacientes a los 5.512 m.s.n.m. y presenta un desnivel de 3.873 m en 41 km. Se analizan las causas que originaron el flujo denso ocurrido 6/1/2015, mediante análisis de imágenes de Google Earth previas y posteriores, entrevistas, testimonios, y reconocimientos a campo hasta los 3.000 m.s.n.m. El flujo denso, tipo colada de barro (debris flow), arrastró grandes bloques y gran contenido de materiales finos que desbordaron ambas márgenes e inundó la ciudad y viñedos. Se estimó el caudal máximo en 396 m<sup>3</sup>/s y velocidad media de 3 m/s. Se determinó que los sedimentos corresponden a la Quebrada de la Sala donde las laderas colapsaron durante una tormenta intensa. Las zonas altas de las serranías presentan humedales tipo vegas, asociadas a pajonales y numerosas vertientes naturales que los pobladores aprovechan para pastorear ganado bovino, generando un intenso sobrepastoreo.

**Palabras claves:** Cafayate- aluvión- sobrepastoreo.

### ABSTRACT

The Chuscha river is a mountain torrent with its springs at 5.512 m.a.s.l. and it presents a drop of 3.873 m in 41 km. The causes that originated the dense flow are analyzed happened 6/1/2015, by means of analysis of current and previous Google Earth images, interviews, testimonies, and field surveys up to 3.000 m.a.s.l. The dense flow, type debris flow, dragged large blocks and a large content of fine materials that overflowed both banks and flooded the city and vineyards. The maximum flow was estimated at 396 m<sup>3</sup>/s and average speed was 3 m/s. It was determined that the sediments correspond to the Valley of the Sala where the hillsides collapsed with an intense storm. The high areas of the mountains present wetlands type wetlands, associated with arid grasslands and many natural slopes that the inhabitants take advantage of to graze cattle, generating an intense overgrazing.

**Keywords:** Cafayate- alluvium- overgrazing.

### Introducción

El actual relieve de nuestro planeta ha sido, y continúa siendo, modelado por la acción de los procesos de erosión, transporte, deposición y consolidación de sedimentos, los cuales se han mostrado activos a través de tiempos geológicos. Los principales agentes que actúan en los procesos mencionados son el agua, el viento, la gravedad y el hielo. Los procesos

morfológicos originados por la acción hidrodinámica del flujo fluvial encauzado, actúan sobre un cauce constituido por sedimentos de granulometría variada susceptibles de ser erosionados y transportados. Los ríos que fluyen en cauces constituidos por los sedimentos que ellos mismos han erosionado, transportado y depositado, a través de su historia, se conocen con el nombre de ríos aluviales (Basile, 2018).

Los procesos de remoción masiva de sedimentos son procesos importantes de erosión, relacionados con la gravedad con o sin presencia de agua, tales como los deslizamientos de laderas y los flujos hiperconcentrados (flujos de detritos, flujos de barro, etc.). Los procesos de remoción en masa, típicos de zonas de montaña, se acrecientan durante eventos hidrológicos extraordinarios y generan excesivos ingresos de sólidos en los cursos de agua, desencadenando procesos de erosión, producto del aumento de la competencia de la corriente, y de sedimentación notables en los cauces de la parte baja de la cuenca. Los deslizamientos se magnifican como consecuencia de la saturación progresiva de la ladera, por infiltración de agua de lluvia, que desestabiliza la masa de suelo y origina su deslizamiento masivo por rotura circular, o en cuña del talud. Si el río no es represado por el deslizamiento, queda una gran cantidad de sedimento disponible para ser transportado por la corriente aguas abajo, y dependiendo de la pendiente local, puede transformarse en un flujo hiperconcentrado (pendientes mayores de 15 %).

Los flujos densos son fenómenos muy complejos que involucran grandes volúmenes de roca, residuos y suelo (Hungre et al, 2001). El comportamiento de los flujos es muy variado y con frecuencia, recorre grandes distancias para finalmente, sedimentarse cubriendo áreas grandes en un proceso final de sedimentación, al disminuir la pendiente, el cual es parte del mecanismo del flujo (Suárez, 2009). Los flujos densos pueden clasificarse en tres tipos: inundaciones o crecidas de barro (mudfloods), flujos de barro (mudflows) y flujos de detritos (debrisflows) (Julien y León, 2000). Los flujos de barro, se caracterizan por una concentración de limos y arcillas lo suficientemente alta como para cambiar las propiedades de densidad, y por ende de competencia y capacidad del fluido, favoreciendo el transporte de material de fracción mayor de 2 mm (psefitas). La concentración de sedimento en volumen,  $C_v$

está en un rango entre el 45 y el 55 % (Suárez, 2009). Debe tenerse en cuenta que en un mismo evento pueden darse diferentes tipos de flujo denso, dependiendo, entre otros factores, de las características de los materiales de las cuencas de aporte y de la concentración de sedimentos de la mezcla en el colector principal (Spalletti et al, 2003).

En numerosos ríos y cauces de montaña del noroeste argentino se presentan las condiciones necesarias para la generación de flujos densos, tanto en regiones húmedas como áridas. En el norte de Argentina estos procesos son muy comunes en las regiones áridas de los Valles Calchaquíes, cuando se producen las lluvias extremas o severas, (Ferreira et al, 2018).

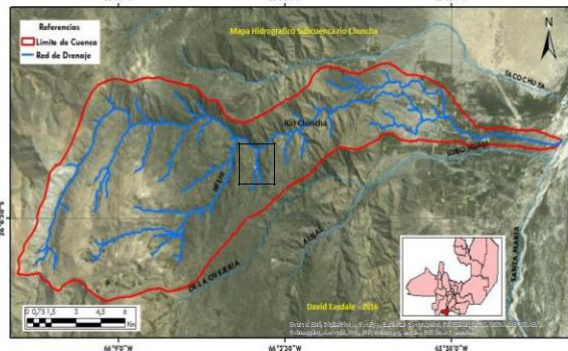
El objetivo de este trabajo es analizar las causas que originaron el flujo denso del 6 de enero de 2015 que descendió encauzado por el río Chuscha hasta la localidad de Cafayate llevando grandes bloques de hasta 1,5 m de longitud junto con los sedimentos finos hiperconcentrados (Ferreira et al, 2017).

### **Materiales y Métodos**

La cuenca montañosa del río Chuscha (145 km<sup>2</sup>) se encuentra en la región árida en los Valles Calchaquíes, provincia de Salta. Presenta un desnivel altitudinal de 3.873 m en 41 km de cauce fluvial; siendo la altitud máxima 5.512 m.s.n.m. en el nevado del Chuscha y desemboca en el río Santa María a los 1.566 m.s.n.m. En su recorrido atraviesa de oeste a este la ciudad de Cafayate, ubicada sobre el cono aluvial en la parte baja de la cuenca, junto al cono aluvial del río Lorohuasi al sur Ferreira (2019). Esta localidad experimenta frecuentemente episodios de crecidas e inundaciones, como aluviones o flujos densos ocurrido el 6 de enero de 2015 (Ferreira et al, 2017) y el 28 de enero de 2019.

La Quebrada de La Sala está ubicada a los 26° 5' 19,61''S- 65° 4'45,72''O, 3.008 m.s.n.m. Según relevamiento a campo y testimonios de pobladores se identificó que los deslizamientos ocurridos desde 2003 en adelante involucran laderas de ésta quebrada.

El arroyo de La Sala drena sus aguas hacia el río Chuscha (Fig. 1).



**Fig. 1.** Cuenca del río Chuscha (Cafayate-Salta). En recuadro negro ubicación de la Quebrada de La Sala.

Se efectuaron análisis de imágenes de Google Earth actuales (2018) y de los años 2003, 2013 y 2016, entrevistas a pobladores e informantes claves, testimonios, investigación en el archivo histórico de Cafayate. También, se realizaron reconocimientos a campo hasta los 3.010 m.s.n.m. para determinar los sitios donde ocurrieron los procesos gravitacionales y grado de erosión, tipos de vegetación, cobertura, red fluvial, tipo de sedimentos y actividades de pastoreo.

## Resultados y discusión

De acuerdo a los registros del archivo histórico y periodísticos, otros episodios de flujos densos y/o crecidas se produjeron en los años 1866, 1869, 1895, 1905, 1960, 1968, 1970, 1974, varios episodios en la década del 90, 06/01/2010, 20/12/2010, 17/02/2011, 2012, 6 de enero de 2.015 y 28 de enero de 2019.

Los episodios del 06/01/15 y 28/01/19 fueron flujos densos del tipo colada de barro (debrisflow), que arrastró grandes bloques, llevando gran contenido de materiales finos, que desbordaron ambos márgenes inundando la ciudad y viñedos en 2015. Cabe aclarar que en este episodio las tormentas severas ocurrieron en los cerros a los 3.000 m.s.n.m., mientras que en Cafayate no se registraron lluvias. Ferreira et al. (2018) estimaron el

caudal máximo antes del puente carretero en  $396 \text{ m}^3/\text{s}$  con una velocidad media de 3 m/s, mediante la técnica remota LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity) y análisis de imágenes de un video, mediciones a campo y uso de los softwares RIVER (Patalano y García, 2016) y PIVLab (Thielicke y Stamhuis, 2014).

Se determinó que los sedimentos transportados por los flujos densos en 2015, 2010, 2011, 2012 y 2019 corresponden a la Quebrada de la Sala, donde las laderas colapsaron durante una tormenta intensa producida horas antes. Sin embargo los deslizamientos sobre esta quebrada comenzaron antes del año 2003 (Fig. 2a y continuaron intensificando la degradación de las laderas con las lluvias severas ocurridas en los años subsiguientes (Fig. 2b a d), que desencadenaron los flujos densos.

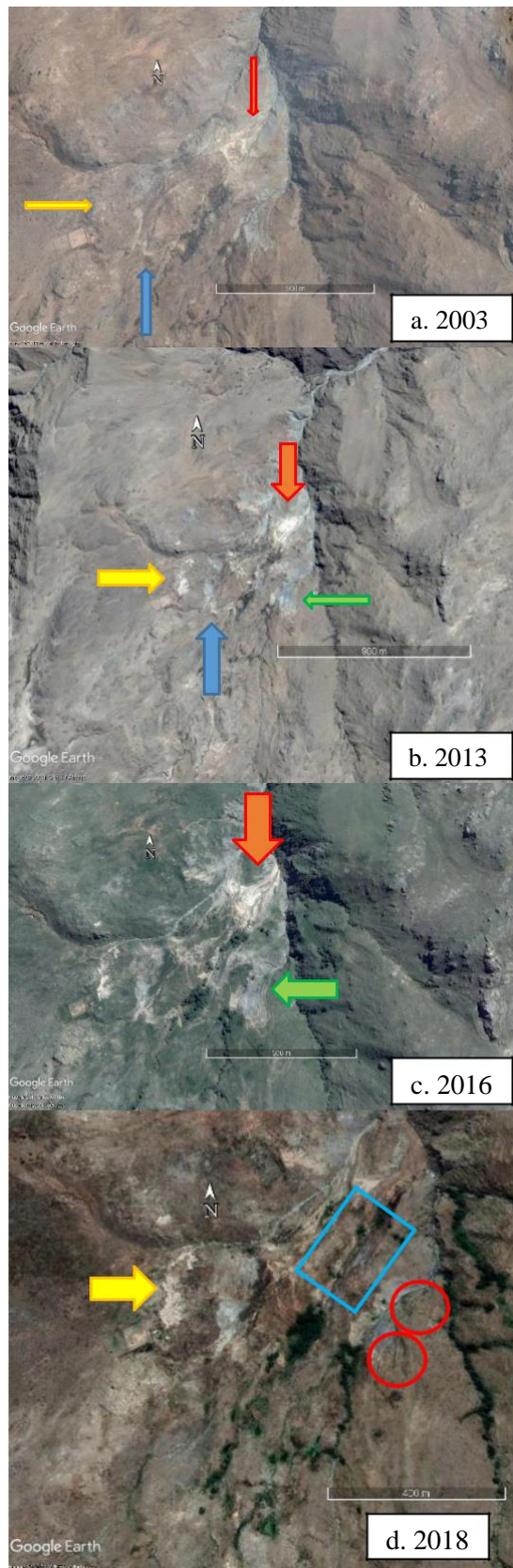
El 8/01/91 se registró en Bodega El Esteco, una tormenta con 92 mm de precipitación que provocó el desborde o crecida del río Chuscha. El 6/01/10 y 20/12/10 se registraron 38,6 y 53,2 mm de precipitación respectivamente, en Bodega Etchart. El 28/01/19 hubo un aluvión sobre el mismo río que fue filmado, aunque no se desbordó en la ciudad (Fig.4).

De acuerdo a la evolución en el tiempo (Fig. 2 a-d), en la quebrada de La Sala pueden observarse evidencias de procesos gravitacionales, en especial deslizamientos (Fig.3), que ocurren con los episodios de lluvias intensas de verano.

Estos procesos transportan abundante material sólido de diferente tamaño, provocando grandes cambios morfológicos en el cauce, como también daños socio-económicos en las zonas urbanas, cultivos de viñedos, puestos, captaciones de agua, etc.

El proceso erosivo de tipo gravitacional, activo desde 2003 abarca una superficie de  $10.000 \text{ m}^2$ . A esto, se suma el agua aflorante de las vertientes que favorecen el descalce y favorece los deslizamientos de  $30.000 \text{ m}^2$ . Se nota un progresivo avance de algunas zonas de remoción hacia el Puesto Carpanchay (Fig. 3).





**Fig. 2.** Imagen de la Quebrada de La Sala (3.008 m.s.n.m.) en el 2003, 2013, 2016 y 2018. a. En tonos blanquecinos se observan las cicatrices de despegue de los deslizamientos. Corrales y

puesto ganadero de Carpanchay (margen izquierda). b. Imagen luego de los deslizamientos ocurridos en los años 2010 y 2011. c. Imagen luego de los deslizamientos de 2015. Se aprecia la intensificación de la zona de colapso en las laderas de margen izquierda. d. En verde se observan los bosquecillos de aliso del cerro. Entre 2003 y 2018 se han detectado incremento de los sectores colapsados (indicadas con el grosor de las flechas), nuevas zonas potenciales de colapsos de ladera (cercana al puesto), zonas de re-vegetación natural post-colapso (círculos) y zonas arrasadas por flujo denso entre 2016-2018 (rectángulo).



**Fig. 3.** Corona de despegue de deslizamientos de laderas en el terreno, Quebrada La Sala (2017). Arriba a la izquierda se observan los corrales del Puesto Carpanchay.



**Fig. 4.** Imagen del video filmado 28/01/19 aluvión o flujo denso sobre puente carretero.

Las zonas altas de la cuenca corresponden a pastizales altoandinos, con numerosas vegas, donde pastorean llamas, guanacos y vicuñas (4.000-4.900 m.s.n.m.). En las laderas de las serranías ubicadas entre 3.000 -4.000 m.s.n.m. se presentan pastizales de la Puna combinados con humedales de tipo vegas o ciénegas asociadas a pajonales puneños, con numerosas vertientes

naturales, que los pobladores aprovechan para pastorear con ganado bovino, generando un intenso sobrepastoreo.

Se han registrado en toda la cuenca del río Chuscha un total de 45 puestos ganaderos dispersados de acuerdo a la disponibilidad de agua (vertientes naturales, vegas, canales de riego, tomas con mangueras). Según testimonios, el puesto de Carpanchay, ubicado en quebrada de La Sala, albergaba alrededor de 1.000 cabezas de ganado bovino hace alrededor de 10 años, sin control de carga animal. Actualmente llegan a tener alrededor de 400 cabezas de ganado (abril de 2017). Los signos o evidencias de pastoreo intensivo (erosión en pie de vaca y suelos compactados) en suelos frágiles de tipo arenoso con numerosos guijarros y guijas en superficie de gneis y granito rosado, observados en campo, permiten aseverar que este puede ser uno de los factores desencadenantes de los deslizamientos, junto a los factores climáticos (lluvias intensas en corto tiempo), pendientes pronunciadas (>30%), grandes desniveles del relieve montañoso, que favorecen la acción de la gravedad. El puesto es temporario, no hay residentes fijos y los pastajeros y dueños de la tierra anualmente en el mes de abril realizan la "pialada", donde juntan el ganado disperso en toda la comarca, para vacunarlos, marcarlos y cobrar el pastaje.

## Conclusiones

Los factores que están intensificando los procesos gravitacionales en quebrada de La Sala, parecen ser de tipo antrópicos: es el intenso pastoreo extensivo (sobrepastoreo), con elevada carga animal sin control del pastoreo. En función del progresivo avance de algunas zonas de remoción hacia el Puesto Carpanchay, es necesario efectuar un monitoreo de deslizamiento y saturación de suelos y aporte de agua desde las vertientes en dicha zona para prever acciones

tendientes a la protección de las personas que allí realizan sus actividades.

## Referencias

- Basile, P. A. 2018. Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales. 1ª Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Brea, J. D., Spalletti, L., Hoopwood, H. J. y Spalletti, P. 2005. Conceptos y aplicaciones sobre flujos densos en hidráulica de ríos. Ingeniería del agua. Vol. 12, Nº 3, set. 2005.
- Ferreira, S. E. 2019. Manejo de Cuencas Hidrográficas y Técnicas para la Restauración Ecológica en Cuencas de Montaña. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales.
- Ferreira, S. E., Easdale D. y Barrientos, A. 2017. Sedimentos del flujo denso del 6 de enero de 2015 sobre el río Chuscha (Cafayate, Salta-Argentina): análisis granulométrico y litológico. VIII Jornadas de Ciencias Naturales, VI Jornadas de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y II Jornadas de Unidad Integrada INTA-UNSa.
- Ferreira, S. E., Alfaro B. y Barrientos, A. 2018. Medición del caudal máximo del flujo denso en el evento de crecida en el río Chuscha de enero 2015, Cafayate, Salta. VI Taller sobre Eventos Hidrometeorológicos Extremos, Mendoza.
- Hungr., O., Evans, S.G., Bovis, M.J. y Hutchinson, J.N. 2001. A review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience 7: 221-238.
- Julien, P. y León, C. 2000. Mud floods, mudflows and debris flows. Classification, rheology and structural design. Jornadas de Investigación JIFI 2000: the debris flow disaster of december 1999 in Venezuela.
- Patalano, A., and García, C. M. (2016) "RIVeR - Towards affordable, practical and user-friendly toolbox for Large Scale PIV and PTV techniques". IAHR RiverFlowConference, St. Louis, USA.
- Suárez, J. 2009. Deslizamientos. Tomo I. Análisis Geotécnico. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia.