



Análisis granulométrico de sedimentos y dinámica fluvial en la cuenca del río Lorohuasi (Cafayate, Salta)

Daniela I. QUINTERO^{1,2}, Vanina LÓPEZ de AZAREVICH^{2,3}, Silvia E. FERREIRA², Adriana E. ROVERE⁴, Patricia C. ESPINOZA² y Carolina R. SULBELZA²

Abstract: *GRANULOMETRIC ANALYSIS OF SEDIMENTS AND FLUVIAL DYNAMICS IN THE LOROHUASI RIVER BASIN (CAFAYATE, SALTA)* River processes have the ability to modify all terrestrial systems. The release of components, their transport and deposition as sediments by water have important environmental consequences, many of which can be deteriorating or irreversible. Arid regions are susceptible to water erosion, since the mere existence of water flow is exceptional and the common situation is its extreme speed, which is combined with the spatio-temporal variability of sediment transport. In this context, the objective was to analyze the dynamics of sediment transport in the Lorohuasi river basin, Cafayate, Salta, in the middle sections of the Alisal and Colorado tributaries, throughout the Lorohuasi river and the river mouth in the Santa María river, between the years 2016 and 2020. In 30 plots of 1 m² located in 14 study sites, 30 samples of medium and fine sediments were collected in the active channel of the rivers. At each site, the width and slope of the channel was measured, as well as the flow, with the granulometric data of the medium sediments, were constructed accumulated frequency graphs and tables of statistical parameters (mean, median, mode, standard deviation, asymmetry and kurtosis), in order to characterize and analyze the distribution of the granulometric fractions along the river courses, evaluate the sedimentation dynamics and characterize the transport agent. The results show that in general lines, the mean granulometry of all the analyzed material transported in the Lorohuasi river basin is mean sand (phi 1.15), with mean-median-mode in the same fraction, the distribution is mesokurtic, symmetric and the material is poorly selected. The sediment is transported majorly by saltation in the Colorado and Alisal rivers, and by saltation and/or suspension in the Lorohuasi river. It is concluded that the physical characteristics of the basin and anthropic activities influence the granulometry of the analyzed sediments, especially in the lower basin, and that rehabilitation techniques in affected riverbank areas could restore their functionality and protect the river system.

Resumen: Los procesos fluviales tienen la capacidad de modificar todos los sistemas terrestres. La liberación de componentes, su transporte y deposición como sedimentos por el agua, tienen consecuencias ambientales importantes, muchas de las cuales pueden ser deteriorantes o irreversibles. Las regiones áridas son susceptibles a la erosión hídrica, ya que la sola existencia de flujo acuático es excepcional y la situación común es su extrema velocidad, que se conjuga con la variabilidad espacio-temporal del transporte de sedimentos. En este contexto, el objetivo fue analizar la dinámica en el transporte de sedimentos en la cuenca del río Lorohuasi, Cafayate, Salta, en los tramos medio de los tributarios Alisal y Colorado, en todo el río Lorohuasi y el sector de desembocadura con el río Santa María, entre los años 2016 y 2020. En 30 parcelas de 1 m² ubicadas en 14 sitios de estudios, se recolectaron 30 muestras de sedimentos medianos y finos en el cauce activo de los ríos. En cada sitio se midió el ancho y pendiente del cauce, como así también el caudal; con los datos granulométricos de los sedimentos medianos se construyeron gráficos de frecuencia acumulada y tablas de parámetros estadísticos (media, mediana, moda, desviación estándar, asimetría y curtosis),

¹CONICET. e-mail: irenequintero89@gmail.com

²Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación. e-mail: vlllopez@yahoo.com.ar; silferreira11@gmail.com; patriciaceiliaespinoza@gmail.com; c.subelza.95@gmail.com.

3CEGA-INSUGEO-CONICET

⁴Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA, CONICET-Universidad Nacional del Comahue). e-mail: adrirovere@gmail.com.

a fin de caracterizar y analizar la distribución de las fracciones granulométricas a lo largo de los cursos fluviales, evaluar la dinámica de sedimentación y caracterizar el agente de transporte. Los resultados exponen que en general, la granulometría media de todo el material analizado transportado en la cuenca del río Lorohuasi es arena media (ϕ 1,15), con media-mediana-moda en la misma fracción, la distribución es mesocúrtica, simétrica y el material es pobremente seleccionado. El sedimento se transporta mayormente por saltación en los ríos Colorado y Alisal, y por saltación y/o suspensión en el río Lorohuasi. Se concluye que las características físicas de la cuenca y las actividades antrópicas influyen en la granulometría de los sedimentos analizados, especialmente en la cuenca baja, y que técnicas de rehabilitación en las riberas afectadas podrían devolver la funcionalidad de las mismas y proteger el sistema fluvial.

Key words: River sediments. Dynamic. Water erosion. Rehabilitation. Riverbank. Transport.

Palabras clave: Sedimentos fluviales. Dinámica. Erosión hídrica. Rehabilitación. Ribera. Transporte.

Introducción

Los ríos y arroyos son los ecosistemas más utilizados por el hombre a lo largo de su historia (González del Tánago y García de Jalón, 1998), y se hallan fuertemente impactados a nivel mundial (Sala *et al.*, 2000). Son sistemas que sufren disturbios frecuentes e intensos, que ocasionan problemas en el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad (Richardson *et al.*, 2007). Los ríos responden a los eventos de perturbación de diversas formas y a distintas escalas de tiempo (Gibson y Shelley, 2020), si los disturbios naturales y antropogénicos perduran, la recuperación natural de los mismos puede no ocurrir (Downs *et al.*, 2013). Entre las actividades que afectan directamente los ríos se encuentran los trabajos de ingeniería (construcción de diques, canalización, rectificación, generación de energía, extracción de agua); mientras que los cambios en el uso de la tierra (forestación, agricultura, ganadería, minería, construcción de caminos, urbanización), causan efectos indirectos menos obvios, pero igualmente importantes (Gregory, 2006).

Los cambios en el uso de la tierra en las proximidades al río o en las riberas específicamente, degradan la vegetación de riberas y los hábitats naturales para numerosas especies nativas, reduce y homogeniza la composición de especies, perturba los sistemas hidrológicos y modifica el flujo de energía y el ciclo de nutrientes (Morley y Karr, 2002; Alberti, 2005; Bernhardt y Palmer, 2007; Miserendino *et al.*, 2011).

La vegetación ribereña, es considerada una interfase entre ambientes fluviales y terrestres de una cuenca, cumpliendo un rol importante en el funcionamiento del ecosistema (Gualdoni *et al.*, 2011); y las alteraciones en esta zona afectan a todo el corredor fluvial (Naiman *et al.*, 1993; Naiman y Décamps, 1997). La vegetación ribereña influye sobre la producción de los ríos, la calidad y cantidad de materia orgánica, la biodiversidad y la continuidad de los corredores biológicos que favorecen la migración y dispersión de especies (Osborne y Kovacic, 1993). A su vez, actúa como zona de amortiguación, dado que retiene agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes que pueden ingresar por escorrentía desde suelos adyacentes, si se encuentra en buen estado de conservación (González del Tánago y García de Jalón, 1998).

La urbanización de las cuencas, incluidas las áreas de plantación y riego, conduce a cambios en las corrientes a lo largo de tres ejes: (i) la simplificación geomorfológica, que reduce la heterogeneidad del hábitat y la conectividad de la llanura de inundación; (ii) el valor social con fines recreativos que se ve disminuido; y (iii) la simplificación ecológica en el cauce, que disminuye la biodiversidad y afecta el funcionamiento del ecosistema (Bernhardt y Palmer, 2007).

Los procesos fluviales tienen la capacidad de modificar todos los sistemas terrestres (bióticos y abióticos) y de proveer datos acerca de las inter-relaciones biogeoquímicas de la atmósfera-hidrosfera-biosfera-pedósfera (Schlesinger *et al.*, 1990; Syvitski, 2003; Munson *et al.*, 2011).

La liberación de componentes (detríticos u orgánicos), su transporte y depositación como sedimentos por el agua tiene consecuencias ambientales importantes, muchas de las cuales pueden ser deteriorantes o irreversibles (Belnap *et al.*, 2011). A su vez, las regiones áridas son particularmente susceptibles a la erosión hídrica, ya que la sola existencia de flujo áqueo es excepcional y la situación común es su extrema velocidad, que se conjuga con la variabilidad espacio-temporal del transporte de sedimentos (Sharma *et al.*, 1994). La variabilidad de las precipitaciones, las superficies a drenar en la cuenca, el grado de cobertura vegetal, la topografía y la proporción de sedimentos en suspensión, también contribuyen a su vez, a la generación de flujos densos estivales de diversa magnitud.

En un sistema fluvial, Schumm (1977) reconoce una subdivisión en tres zonas espaciales o dominios con comportamientos dominantes de flujo de masa y procesos sedimentarios asociados: (1) Zona de denudación/erosión: de aporte de sedimentos, de relieve abrupto y alta susceptibilidad a la erosión (mayores alturas y pendientes); (2) Zonas de transferencia de sedimentos: de relieve más suave, con tasas relativamente bajas de erosión o acumulación, regida por el transporte; y (3) Zona de acumulación/depositación: cubetas sedimentarias que registran la acumulación neta de los sedimentos de las cuencas circundantes. Estos dominios del sistema fluvial son susceptibles de ser modificados por procesos tectónicos (levantamiento/subsidencia), condiciones climáticas (régimen de precipitaciones, glaciaciones, sequía), la extensión de la red de drenaje, la litología de las zonas de aporte (cohesividad, etc.), o por acción antrópica. Estos cambios en las condiciones ambientales e hidrológicas, se manifiestan como perturbaciones en la producción de sedimento, dispersión y/o depositación, y su propagación es reconocible aguas abajo en el sistema (Romans *et al.*, 2016). A su vez, en los ríos de regiones áridas se reconoce que, al ser rectificadas y canalizadas dentro de las áreas urbanas, los cauces se ven estrechados, pero por

lo general no se profundizan, por lo que el área de sección transversal se ve disminuido, lo que aumenta el potencial de inundación (Laronne y Shulker, 2002).

El material aportado para el transporte puede provenir de la cuenca o del cauce, es decir material de la cuenca que llega al cauce por procesos de remoción en masa en las zonas de cuenca alta y media, o material que ya se encuentra en el cauce desde el periodo lluvioso o aluvional previo. En los ríos de montaña, los bloques que ingresan a la cuenca en las cabeceras, aguas arriba, provienen de: i) desprendimientos rocosos, ii) remoción en masa (incluyendo hundimiento) de material aluvional cuaternario que se encuentra depositado en las antiguas terrazas, y/o iii) material de abanicos aluviales recientes activos (Peña Moné y Santpietro-Vattuone, 2018). La remoción se produce por dos procesos: uno durante época seca por hundimiento (gravedad) y otro durante época húmeda (por fluxión del suelo). Esta última está condicionada principalmente por la cantidad de agua que embebe el suelo que los contiene, y es acelerada por la primera tormenta de cada temporada.

De la totalidad de sedimentos transportados por el sistema fluvial, un porcentaje es exportado fuera de la cuenca (desembocadura), y otro permanece en la cuenca contribuyendo a la acreción fluvial y/o retrabajo fluvial o eólico. El retrabajo fluvial o eólico, es un proceso que contribuye al balance natural, cuya periodicidad es dependiente de las condiciones climáticas y geomorfológicas-dinámicas para diferentes escalas temporales, desde horas a millones de años (Maroulis *et al.*, 2007; Romans *et al.*, 2016). El volumen y granulometría del material aportado a la cuenca, y el régimen de precipitaciones definirán las condiciones del transporte (caudal, velocidad, densidad, competencia), mientras que la distribución granulométrica de sedimentos a lo largo del cauce dependerá también de la pendiente y geomorfología atravesadas por la corriente fluvial. La naturaleza del aporte de sedimentos puede considerarse como un indicador de las fuerzas corriente arriba ya que una

vez que las partículas de sedimento entran en transporte, su granulometría y el agente de transporte determinarán la distancia a la cual serán transportadas y el mecanismo del mismo (Bagnold, 1941; Allen, 1994).

Considerando que la distancia y el mecanismo del transporte dependen principalmente del tamaño de las partículas y su forma, el estudio de la distribución granulométrica en la sección longitudinal del cauce permite reconocer la variación en los mecanismos de transporte, pendiente abajo. El objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica en el transporte de sedimentos medianos en los tramos medio de los tributarios Colorado y Alisal, en todo el río Lorohuasi y el sector de desembocadura con el río Santa María entre los años 2016 y 2020. Los objetivos específicos planteados fueron: 1) Caracterizar y analizar la distribución de las fracciones granulométricas, en diferentes épocas del año, a lo largo de los cursos fluviales considerados, 2) Analizar las características físicas (ancho y pendiente) del cauce en los sitios

de muestreo, y 3) Evaluar las condiciones dinámicas de sedimentación en los tramos medio e inferior de la cuenca y las características del agente de transporte.

Antecedentes

La cuenca del río Lorohuasi (139 km²), pertenece a la cuenca alta del Juramento (32.885 km²), que ocupa la parte sur de la provincia de Salta, noreste de Catamarca, noroeste de Tucumán y una porción menor del sur de Jujuy. En ella, el río Lorohuasi es un río de montaña que atraviesa de oeste a este la zona sur de la localidad de Cafayate, recorre alrededor de 33,3 km desde sus nacientes (4.800 m s.n.m.) a través de sus tributarios Colorado y Alisal, bajando por la falda oriental de las Sierras de Quilmes, hasta la confluencia con el río Santa María (1.600 m s.n.m.), del cual es uno de sus principales afluentes (Figura 1).

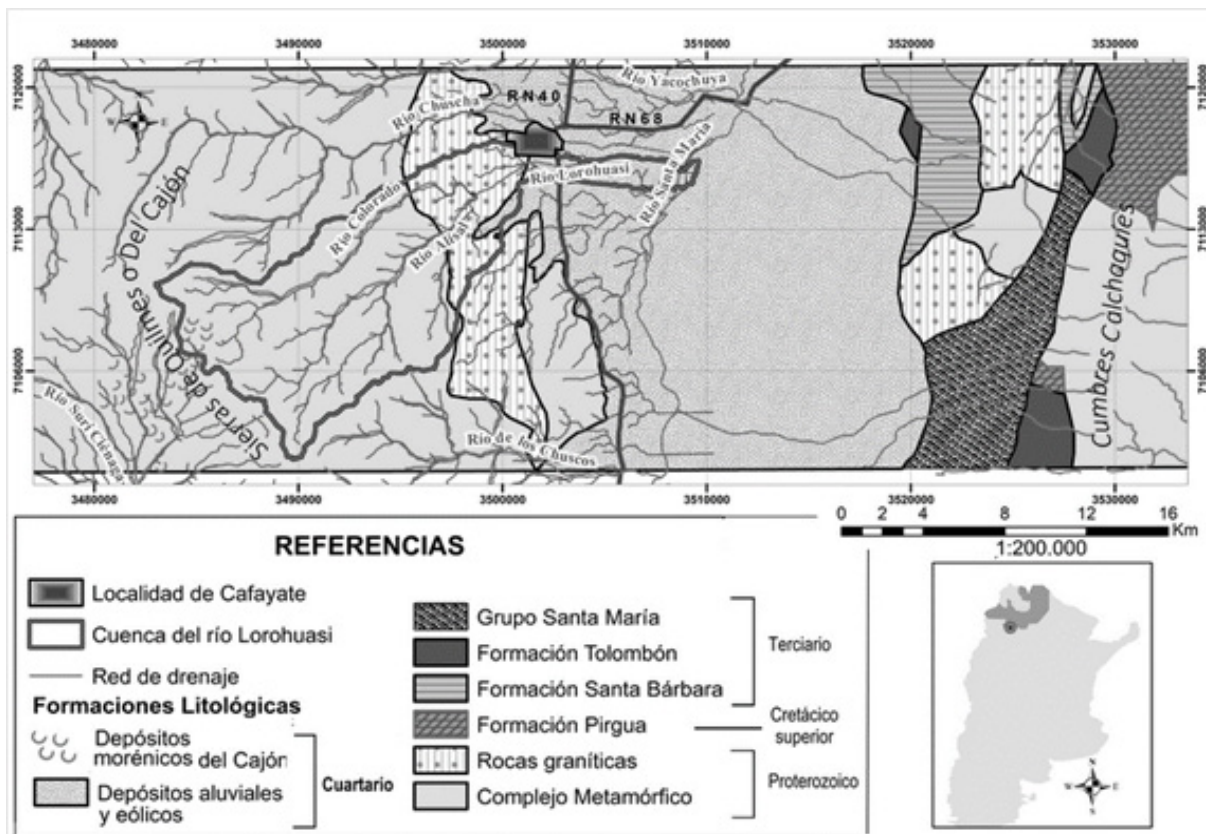


Figura 1. Mapa geológico regional y ubicación de la cuenca del río Lorohuasi, Cafayate, Salta, modificado de Galván, 1981.
 Figure 1. Regional geological map and location of the Lorohuasi river basin, Cafayate, Salta, modified from Galván, 1981.

El Departamento de Cafayate se encuentra emplazado en una depresión tectónica conocida como Valles Calchaquíes, entre dos elementos estructurales positivos importantes que conforman cordones montañosos. El valle Calchaquí está flanqueado al occidente por un conjunto de montañas, mayormente compuestas por rocas ígneas y metamórficas, donde se destacan la Sierra de Cajón o Quilmes, los Nevados de Cachi, Palermo y Acay. Al Este del valle Calchaquí se encuentran las Cumbres Calchaquíes, formadas por un basamento ígneo-metamórficos del Precámbrico Paleozoico inferior; sobre dichos basamentos, en el Terciario temprano, se fueron depositando sedimentos, representados por las capas conglomerádicas que se apoyan discordantes sobre él (Galván, 1981; Alonso, 2013).

Geomorfológicamente, el seno del valle está formado por depósitos aluviales (llanura aluvial) del Cuaternario y por extensos conos y abanicos aluviales de los afluentes de los flancos occidental y oriental.

En las cumbres de las Sierras de Quilmes o del Cajón, se observan remanentes dejados por la actividad glaciaria, reconocidos principalmente en el Nevado de Chuscha, como circos y depósitos de morenas. Como resultado de la actividad glaciaria existe gran cantidad de “material suelto” disponible, que es desplazado luego por los diferentes procesos de remoción, hacia las partes más bajas del relieve (Rivelli, 1995).

Los suelos de la zona de estudio poseen escaso a nulo desarrollo pedogenético por ubicarse en sectores donde predominan afloramientos rocosos con fuertes pendientes. Los suelos de Cafayate están desarrollados a partir de depósitos coluviales y aluviales de arenas medias a finas, provenientes de rocas intrusivas y metamórficas del basamento cristalino que conforman la sierra de Quilmes. Los suelos son bien, a algo excesivamente drenados, predominando esta última característica, de relieve poco ondulado, pertenecientes a los sectores medios y terminales de los conos aluviales de las sierras mencionadas. Los suelos se caracterizan por su escaso desarrollo con perfil A, C, en el que pre-

dominan las texturas ligeras y medias con bajo contenido de materia orgánica (Nadir y Chafatinos, 1990).

En relación a la vegetación, la parte alta de la cuenca del río Lorohuasi corresponde a las Provincias Fitogeográficas de Puna y Altoandina; en los sectores medios de la cuenca se encuentra vegetación típica de la Provincia de Prepuna y Monte y en la parte baja de la cuenca se encuentra vegetación de Monte (Quintero, 2016).

El clima de Cafayate se caracteriza por un moderado grado de aridez, con escasas precipitaciones y déficit de agua. De acuerdo con la Clasificación Climática de Köppen, el clima es árido desértico, cuya principal característica es la falta de una temporada de lluvia suficientemente larga. La zona presenta grandes amplitudes térmicas, producto de la intensa radiación diurna e irradiación nocturna. Las precipitaciones medias alcanzan aproximadamente 214 mm anuales, concentradas en los meses de diciembre a marzo. Las lluvias se presentan escasas e irregulares y de gran intensidad, las que pueden producir aluviones que ponen en peligro obras civiles y vidas humanas (Minetti *et al.*, 2005).

Desde la perspectiva socio-ambiental, el departamento de Cafayate posee una población de 14.850 habitantes (INDEC, 2010) distribuidas en el centro urbano y en las áreas rurales, que demuestra un aumento en el crecimiento demográfico, siendo el turismo y la producción vitivinícola los elementos claves (Rainer y Malizia, 2014). En la cuenca existen 57 puestos ganaderos, de los cuales 49 están ubicados en la subcuenca del río Alisal y 8 puestos en la subcuenca del río Colorado (Espinoza y Ferreira, 2019).

Actualmente la región es un lugar turístico de interés nacional e internacional, con nuevas urbanizaciones cerradas (Rainer y Malizia, 2014; Rainer, 2016). El turismo adquirió una forma, dinámica y magnitud diferente a la par de la exaltación del vino como su principal atractivo y patrimonio local (Villagrán, 2013), generando ingresos genuinos a la zona. Esta situación derivó en cambios evidentes en el patrón de uso

de la tierra, en el cual el paisaje de montaña y la zona de abanico aluvial se van cubriendo de viñedos y nuevos sistemas de riego, y la vitivinicultura de altura es utilizada por desarrolladores inmobiliarios para atraer clientes nacionales e internacionales (Rainer y Malizia, 2014).

El sistema de riego de Cafayate se abastece de los ríos Chuscha, Alisal y Colorado, a través de tres tomas tipo parrilla situadas una en cada uno de estos ríos: río Alisal ($26^{\circ}06'37.93''$ S y $66^{\circ}01'32.43''$ O), río Colorado ($26^{\circ}05'30.18''$ S y $66^{\circ}01'2.99''$ O) y río Chuscha ($26^{\circ}04'01.49''$ S y $66^{\circ}02'49.44''$ O). El caudal global del sistema es de ~ 1.000 l/s, con un caudal promedio por ha de 0,5 l/s, distribuido en: 65% de la superficie cultivada utiliza el riego superficial (por surcos y melgas) y 35% utiliza riego presurizado por goteo. El sistema de riego Cafayate está comprendido en el Tipo 1, que corresponde a sistemas públicos de aguas superficiales abaste-

cidos desde el río Santa María y de sus distintos afluentes, administrados por la entidad provincial de riego en forma conjunta con los consorcios de regantes (Morandi, 2014).

Otra actividad antrópica en la zona es la extracción de áridos en el río Lorohuasi; dado que el crecimiento demográfico viene acompañado de una expansión urbanística y mayor demanda de materiales para la construcción (Roncallo y Rovere, 2018). Debido al bajo valor de los productos de las canteras en relación con los costos de transporte, en general los lugares de extracción se encuentran cercanos a los centros de consumo (Carvalho *et al.*, 2011), siendo común observar canteras inmersas en áreas urbanas (Buondonno *et al.*, 2018; Wichers *et al.*, 2018). En el caso de estudio la extracción de áridos se desarrolla en el cauce y parte de las riberas del Lorohuasi, aguas arriba y abajo del puente sobre Ruta Nacional n° 40, modificando

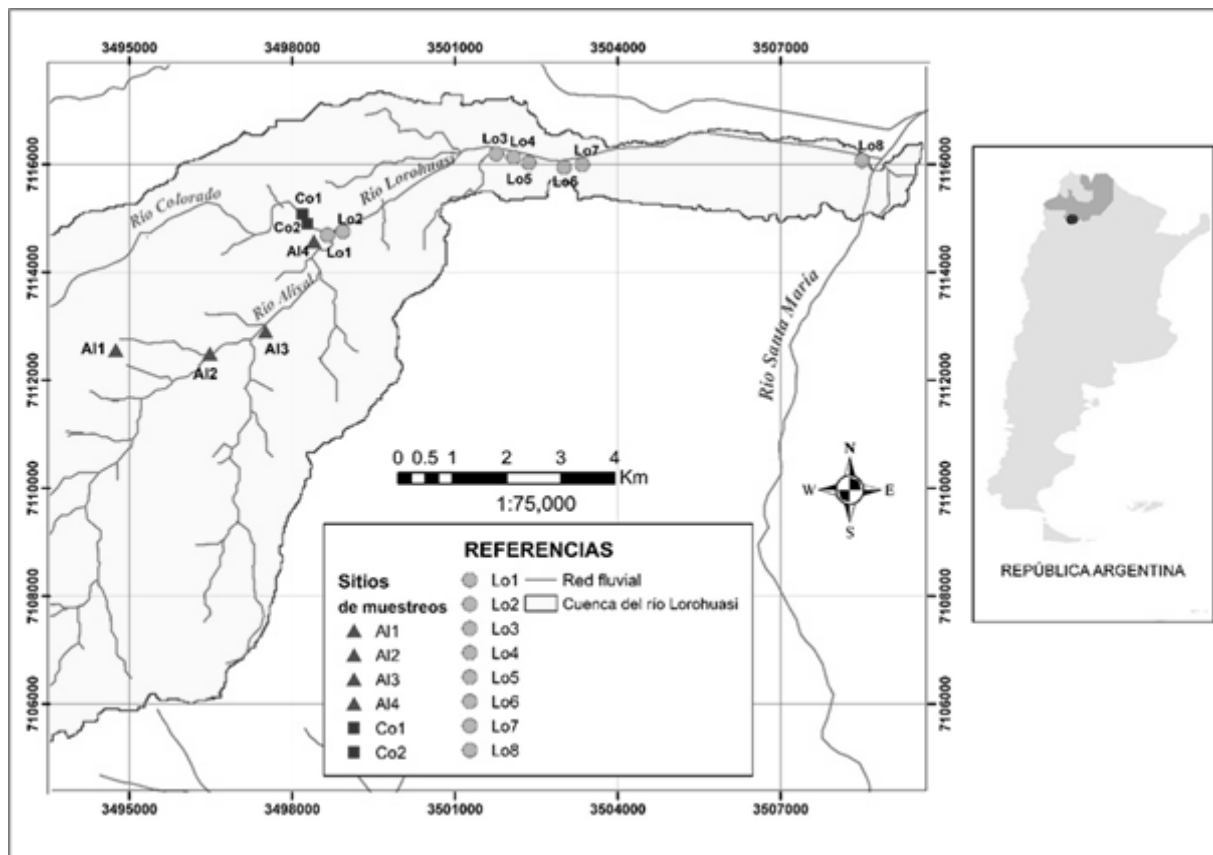


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del río Lorohuasi, Cafayate, Salta. Donde: Al indica sitios de muestreo en el río Alisal, Co sitios de muestreo en el río Colorado y Lo sitios de muestreo en el río Lorohuasi. / **Figure 2.** Location of the sampling sites in the Lorohuasi river basin, Cafayate, Salta. Where: Al indicates sampling sites on the Alisal River, Co sampling sites on the Colorado River and Lo sampling sites on the Lorohuasi River.

la llanura de inundación y el trazado del cauce, afectando la conexión ribera-cauce. A su vez, a partir del puente carretero hasta su desembocadura, el río Lorohuasi está rectificado y encauzado desde la década del '60, reduciendo la llanura de inundación a 25- 45 metros de ancho, afectando la dinámica fluvial del río y la vegetación de ribera, para ganar tierras para cultivo de vid y urbanización principalmente (Quintero, 2016).

Las actividades antrópicas desarrolladas a lo largo del río Loroahuasi, desde la cabecera hasta la desembocadura en el río Santa María, podrían estar generando modificaciones en las tasas de sedimentos ingresados a la cuenca y en el caudal de agua en el cual se transporta. En conjunto, la rectificación y reducción del cauce, eliminación del bosque nativo y el cambio del uso del suelo, son los disturbios más importantes detectados sobre el río Lorohuasi y están alterando la riqueza, composición y abundancia del bosque de ribera, sobre todo en la margen izquierda de los sectores medios del río, disminuyendo los efectos amortiguadores de la flora frente a las inundaciones (Alvarado y Ferreira, 2019).

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio abarca la parte media y baja de la cuenca del río Lorohuasi, incluyendo a sus dos afluentes principales: los ríos Colorado y Alisal y el río Lorohuasi hasta su desembocadura en el río Santa María (Figura 2).

Muestreo de sedimentos

Para realizar el análisis granulométrico de sedimentos en el área de estudio, se seleccionaron catorce sitios de muestreo: cuatro sobre el río Alisal (Al1-Al4), dos sobre el río Colorado (Co1-Co2) y ocho sobre el río Lorohuasi (Lo1-Lo8) (Figura 2). En cada sitio de muestreo se tomaron las coordenadas geográficas y altitud con GPS; y se midió ancho del cauce y la pendiente

mediante cinta métrica y clinómetro de Suunto. También se realizó la medición de caudal utilizando el método de velocidad superficial y sección, en época estival en los momentos donde el cauce presentaba agua (Alarcón *et al.*, 2003). La toma de las muestras se realizó a lo largo de 4 años (2016 al 2020) y en diferentes momentos hidrológicos, tanto durante la época de lluvias como en la de estiaje (Apéndice -Tabla 1).

En cada sitio de muestreo, se trazó una parcela cuadrada de 1m², sobre el canal de estiaje o cauce activo (según el caso). En cada parcela se recolectó un kilogramo de sedimentos medianos y finos (menor a 4 mm) que forman parte de la matriz del sustrato y se guardaron en bolsas rotuladas para procesarlos en laboratorio. Cabe aclarar que las muestras ubicadas alrededor del perímetro urbano cercano al puente carretero (Lo4, Lo5 y Lo6) fueron recolectadas antes de que los sedimentos fueran modificados en su granulometría por la extracción de áridos, existente aguas arriba y abajo del puente carretero.

Análisis de laboratorio

El análisis de sedimentos medianos y finos se realizó en el Laboratorio de la Escuela de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Se utilizó el método de tamizado en seco. Para las muestras húmedas, primero se secaron en estufa a 60 °C durante 24 horas a fin de eliminar el agua y evitar el sobrecalentamiento de las arcillas. Luego se realizó el cuarteo, mediante el cuarteador de Jones, para llevar la muestra de 1 kg a una submuestra de 100 g aproximadamente. La submuestra obtenida se pesó en balanza digital de precisión y se tamizó utilizando tamices Tyler de apertura de malla de 5, 10, 18, 35, 60, 120, 230 y fondo (>230, resto/material pélico). Se empleó la tamizadora de laboratorio marca Ro Tap® (con movimiento circular horizontal y golpeteo vertical), para zarandear la pila de tamices en forma constante durante 15 minutos. Las fracciones retenidas en cada tamiz

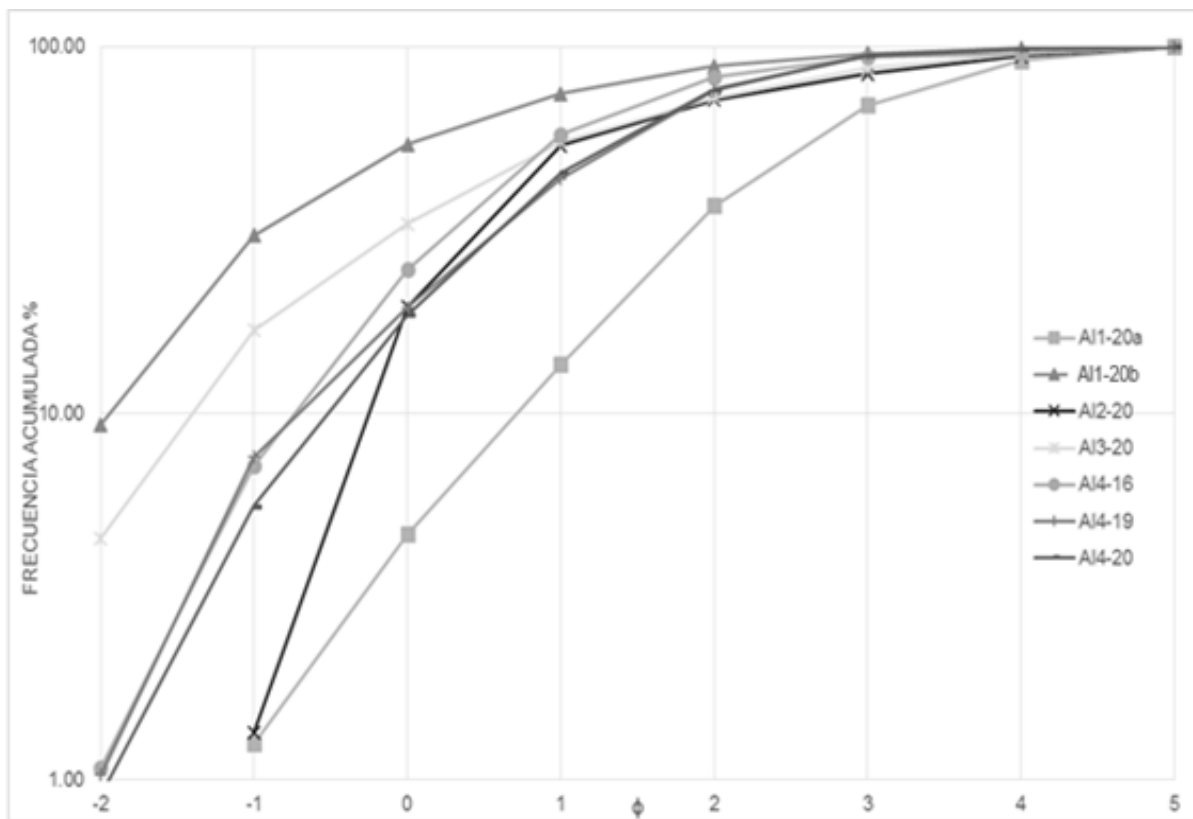


Figura 3. Curvas de frecuencia acumulada (FA), muestras sobre río Alisal (AI). Donde: AI1-AI4 son diferentes sitios; 16, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2019 y 2020; a: antes de la vertiente, b: después de la vertiente; ϕ : tamaño de grano.
 / **Figure 3.** Accumulated frequency curves (FA), samples on the Alisal river (AI). Where: AI1-375 AI4 are different sites; 16, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2019 and 2020; a: before the 376 slope, b: after the slope; ϕ : grain size.

se pesaron con balanza digital.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos de las fracciones granulométricas retenidas de los sedimentos de las muestras, se calculó el porcentaje retenido de cada fracción granulométrica y el porcentaje acumulado (que corresponde a la frecuencia relativa acumulada) (Apéndice- Tabla 2) y se generaron curvas granulométricas de frecuencia acumulada (FA). Las curvas de FA permiten la visualización de los datos obtenidos e interpretar *a priori* las características de cada muestra. En los gráficos de porcentaje de FA y para cada fracción de sedimentos se utilizó la escala PHI (en la abscisa), de esta manera se evita el manejo de números irracionales, dicha escala se basa en los diámetros límites de la escala Udden-Wentworth (regular, geométrica, no cíclica y no decimal), empleando el logaritmo en base 2 del diámetro como se muestra en la siguiente ecuación:

$\Phi = -\log_2$ diámetro (mm) (Nichols, 2009); y el porcentaje del peso acumulado retenido de los sedimentos (en la ordenada al origen) para cada una de las muestras. Los resultados se compilaron en gráficos para cada uno de los ríos a fin de poder comparar el comportamiento de los diferentes sitios de muestreo y momentos de muestreo. A partir de estos gráficos se calcularon los porcentajes correspondientes a cada una de las poblaciones según su mecanismo de transporte.

Para determinar los mecanismos de transporte de los sedimentos en las curvas de frecuencia acumulada, se siguió la metodología del trabajo de Visher (1969), en el cual se detallan los tipos de transporte dentro de distintos flujos o corrientes a partir de los datos granulométricos; las distribuciones están relacionadas a un modo de transporte y depositación, proporcionando así un grado de importancia a la génesis de una unidad de arena. Los tres mecanismos

de transporte son: (1) suspensión, (2) saltación y (3) tracción. A partir de los gráficos de FA se calcularon diferentes parámetros estadísticos: Media gráfica, Mediana, Desviación estándar, Asimetría y Curtosis (Inman, 1952; Folk y Ward, 1957; Folk, 1962; Contreras Galdames, 2018). También se analizó gráficamente la relación entre Asimetría y Desviación estándar de todas las muestras, para evaluar la selección del material en la cuenca; a fin de caracterizar el

agente de transporte se calculó el percentil 1 de las muestras para comparar gráficamente con la mediana (ϕ) (Pasegga, 1964; Bravard y Peiry, 1999).

Resultados e interpretación

En la Figura 3 y la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para los sedimentos re-

Muestra	Parámetros granulométricos (ϕ)						Caudal m ³ /s	Poblaciones %		
	Media	Mediana	Moda	Desviación	Asimetría	Curtosis		Tracción	Saltación	Suspensión
A11-20a	2.4	2.5	3	1.28	-0.12	1.1	-	0	60	40
A11-20b	0	-0.1	0	1.63	0.09	0.99	-	30	60	10
A12-20	1.23	0.9	1	1.36	0.24	0.82	0.1225	20	30	50
A13-20	0.8	0.8	1	1.78	0.01	0.9	0.7422	15	70	15
A14-16	0.78	0.85	1	1.26	-0.03	1.01	No	10	70	30
A14-19	0.97	1.2	2	1.27	-0.27	0.94	-	10	70	30
A14-20	1.1	1.2	2	1.25	-0.12	0.99	No	10	70	30

Tabla 1. Parámetros estadísticos granulométricos y poblaciones de transporte, muestras río Alisal. Donde: A11-A14 son diferentes sitios; 16, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2019 y 2020; a: antes de la vertiente, b: después de la vertiente. / **Table 1.** Granulometric statistical parameters and transport populations, Alisal river samples. Where: A11-A14 are different sites; 16, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2019 and 2020; a: before the slope, b: after the slope.

colectados en el río Alisal (A1; Figura 2).

En el sitio A11, ubicado en la parte media de la cuenca, sobre una vertiente del río Alisal a 2.712 m s.n.m., la muestra A11-20a, despliega una curva de FA que muestra que el transporte por tracción no está definido y es dominante por suspensión, que involucra el 60% del material. La distribución de frecuencias es unimodal, y la asimetría negativa indica una cola de gruesos, mientras que la forma mesocúrtica y los valores similares de media- mediana- moda son reflejo de una selección intermedia del material.

En punto A11-20b, ubicado 50 metros aguas debajo de la muestra A11-20a, presenta una curva de FA que muestra mayor porcentaje de material grueso en transporte por tracción (30% de gravas, de ϕ -2 a -1). Las fracciones arenosas transportadas por saltación son dominantes (60%), mientras que las más finas transportados por suspensión involucran aproximadamente el 10% del material. La distribución de frecuencias es unimodal, y la asimetría es levemente positiva indicando un porcentaje relativo como cola de finos, mientras que la forma mesocúrtica y los valores similares de media- mediana- moda reflejan una selección interme-

dia del material.

En el sitio A12, ubicado a los 2.130 m s.n.m., en la unión del río Alisal con el arroyo Las Bolsas, la muestra A12-20, con un caudal de 0,1225 m³/s, presenta una curva de FA de alta pendiente, donde se puede observar transporte por tracción de granulometrías -1 a 0 ϕ (20%), saltación de 0 a 1 ϕ (30%) y de 1 a 5 ϕ por suspensión (50%). La distribución de frecuencias es unimodal, y la asimetría es positiva, indicando una cola de finos, mientras que la forma platicúrtica, el desplazamiento de la media hacia los finos y la evidencia de una mala selección, coinciden con un aumento de viscosidad del fluido, a lo que contribuye la cola de finos identificada en la distribución de frecuencias. La muestra expresa la condición de aporte de material y flujo ácuo producto de la conjunción de los dos cursos Alisal-Las Bolsas.

En el sitio A13, aguas debajo de la toma de agua (toma parrilla que abarca todo el ancho del cauce, no posee desarenador), la muestra A13-20, con un caudal de 0,7422 m³/s, arroja una curva acumulativa de baja pendiente, donde se dificulta diferenciar los distintos tipos de transporte. La distribución de frecuencias es

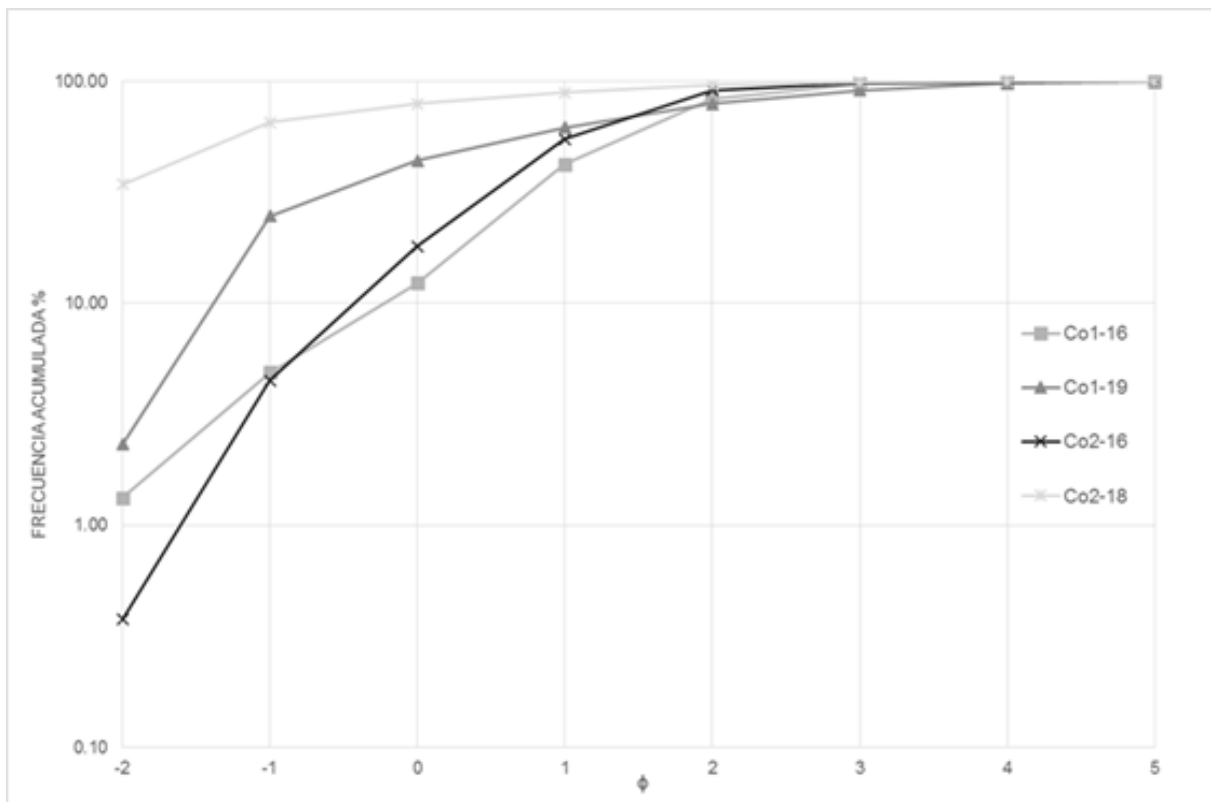


Figura 4. Curvas de frecuencia acumulada (FA), muestras sobre río Colorado (Co). Donde: Co1 y Co2 son diferentes sitios; 16, 18 y 19 corresponden a los años 2016, 2018 y 2019; ϕ tamaño de grano. / **Figure 4.** Accumulated frequency curves (FA), samples on the Colorado river (Co). Where: Co1 and Co2 are different sites; 16, 18 and 19 correspond to the years 2016, 2018 and 2019; ϕ grain size.

Muestra	Parámetros granulométricos (ϕ)						Caudal m ³ /s	Poblaciones %		
	Media	Mediana	Mbda	Desviación	Asimetría	Curtosis		Tracción	Saltación	Suspensión
Co1-16	1.13	1.2	2	1	-0.17	1.13	0.233	5	75	20
Co1-19	0.53	0.3	-1	1.78	0.21	0.78	-	25	55	20
Co2-16	0.83	0.9	1	0.98	-0.14	1.08	0.096	4,5	86,5	9
Co2-18	-1.27	-1.6	-2	1.28	0.38	1.15	-	65	34	1

Tabla 2. Parámetros estadísticos granulométricos y poblaciones de transporte, muestras río Colorado. Donde: Co1 y Co2 son diferentes sitios; 16, 18 y 19 corresponden a los años 2016, 2018 y 2019. / **Table 2.** *Granulometric statistical parameters and transport populations, Colorado river samples. Where: Co1 and Co2 are different sites; 16, 18 and 19 correspond to the years 2016, 2018 and 2019.*

unimodal, y la asimetría es ~ 0 , mientras que la forma mesocúrtica y los valores variables de media- mediana con respecto a la moda son reflejo de una pobre selección del material.

En el sitio Al4, ubicado 300 metros aguas arriba de la unión con el río Colorado, se observa que el comportamiento de las curvas acumulativas a través de los años es similar (Al4-16, Al4-19 y Al4-20); presentan transporte por tracción en un 10% (ϕ -2 a -1), saltación de -1 a 2 ϕ ($\sim 70\%$) y suspensión en un 20% (ϕ 2 a 5), las muestras presentan pobre selección y

asimetrías negativas mesocúrticas, que indican cola de finos identificable en el desplazamiento de la moda hacia ϕ 2 para las muestras Al4-19 y Al4-20.

Las curvas de FA del río Colorado fueron tomadas en distintas estaciones del año: Co2-16, tomada en verano con mayores caudales y Co1-16, Co1-19 y Co2-18 fueron tomadas en otoño con menores caudales (Figura 4). Los parámetros estadísticos granulométricos se presentan en la Tabla 2.

El sitio Co1, 600 metros aguas arriba de

la desembocadura en el río Lorohuasi, (Figura 4), para la muestra Co1-16, con un caudal de $0,233 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa que el sedimento es moderadamente seleccionado, curva negativa leptocúrtica, indicando cola hacia los sedimentos gruesos (transportado por tracción aproximadamente 5% de las fracciones de $\phi < -1$), con media y mediana similares en arena mediana (ϕ : 1,13 y 1,2 respectivamente). Presenta un porcentaje aproximado de 10 al 15% de $\phi > 2$ de sedimentos en suspensión.

En la muestra Co1-19 la distribución es bimodal y la asimetría positiva, que indica una cola de finos. El desplazamiento de la moda hacia $\phi -1$ con respecto a la media ($0,53 \phi$) y mediana ($0,3 \phi$) indica que si bien la fracción granulométrica dominante (P50) es de gravas, son las proporciones de fracciones granulométricas más finas que influyen en los valores medios (arena gruesa). La forma platicúrtica que

responde en parte a la bimodalidad de la frecuencia, es una evidencia del aumento de viscosidad del fluido, a lo que contribuye la cola de finos identificada en la distribución de FA.

Comparativamente en la curva Co1-16 se encuentra mejor definido el transporte por tracción, mientras que Co1-19 representa un diseño diferente en la curva de FA, con mayor volumen de material grueso gravoso que se transporta por tracción (25%), aunque el transporte es principalmente por saltación (55%). Las curvas de FA presentan cambios de pendiente, posiblemente en función del momento del año en que se tomó la muestra

En el sitio Co2, ubicado 300 metros aguas arriba de la desembocadura del río Colorado en el río Lorohuasi, las curvas acumulativas presentan diferencias marcadas, la curva de FA para Co2-16, con un caudal de $0,096 \text{ m}^3/\text{s}$, muestra que el transporte por saltación es dominante

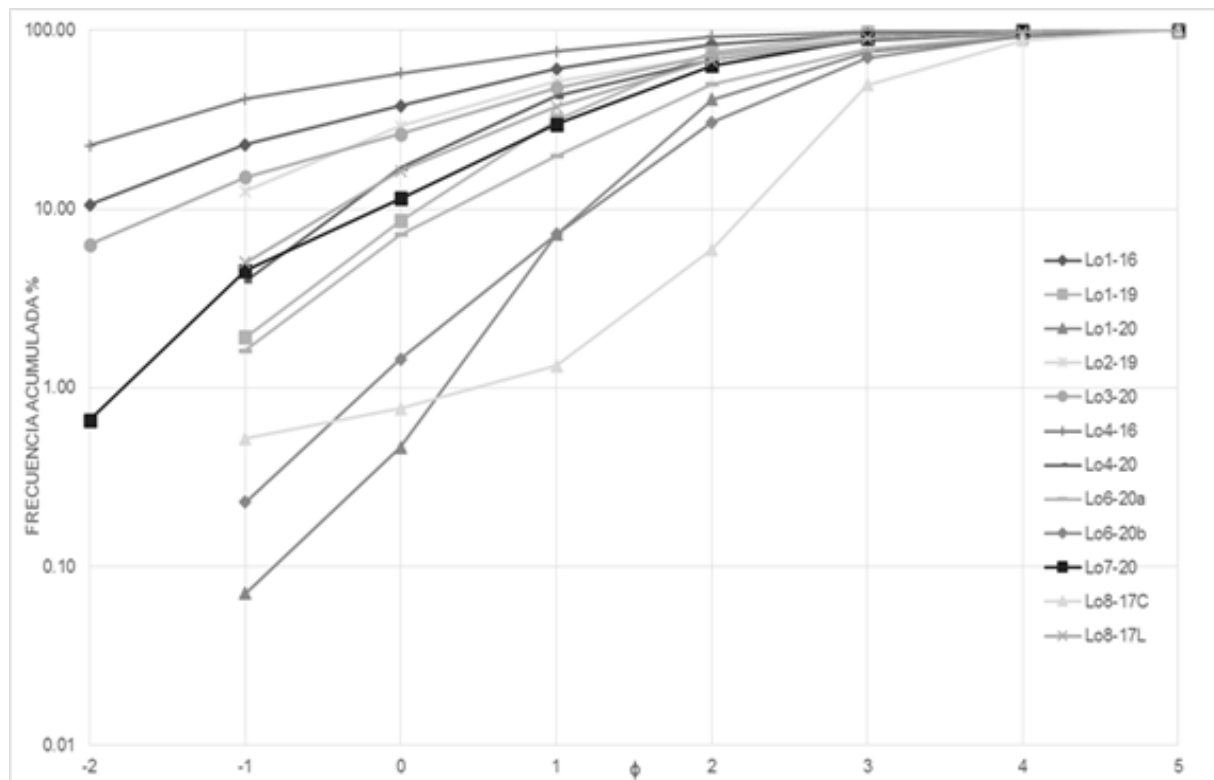


Figura 5. Curvas de frecuencia acumulada (FA), muestras sobre río Lorohuasi (Lo). Donde: Lo1 a Lo8 corresponden a distintos sitios; 16, 17, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2017, 2019 y 2020 respectivamente, a y b: diferentes fechas de muestreo en un mismo sitio, C: centro del cauce del río Santa María y L: centro del cauce del río Lorohuasi; ϕ : tamaño de grano. / **Figure 5.** Accumulated frequency curves (FA), samples on the Lorohuasi river (Lo). Where: Lo1 to Lo8 correspond to different sites; 16, 17, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2017, 2019 and 2020 respectively, a and b: different sampling dates at the same site, C: center of the Santa María riverbed and L: center of the Lorohuasi riverbed; ϕ : grain size.

Muestra	Parámetros granulométricos (ϕ)						Caudal m ³ /s	Poblaciones %		
	Media	Mediana	Moda	Desviación	Asimetría	Curtosis		Tracción	Saltación	Suspensión
Lo1-16	0.33	0.6	1	1.75	-0.25	0.92	-	10	80	10
Lo1-19	1.37	1.5	2	0.93	-0.2	1.09	-	0	70	30
Lo1-20	1.8	2.3	3	1.8	-0.39	0.63	-	0.5	40	59.5
Lo2-19	0.93	1	1	1.75	-0.06	0.92	0.038	0	90	10
Lo3-20	0.87	1.1	2	1.74	-0.23	1.11	2.795	15	60	25
Lo4-16	-0.53	-0.4	-2	1.78	-0.12	0.83	No	41	49	10
Lo4-20	1.27	1.2	1	1.4	0.08	2.1	0.081	18	67	15
Lo6-20a	2	2.05	2	1.3	-0.09	1.01	-	7	43	50
Lo6-20b	2.43	2.5	3	0.91	-0.13	0.96	1.478	0	70	30
Lo7-20	1.6	1.7	2	1.26	-0.18	1.08	1.616	5	55	40
Lo8-17C	3.07	3	3	0.7	0.09	1.11	No	1.5	45	53.5
Lo8-17L	1.23	1.4	2	1.31	-0.01	0.96	No	0	50	50

Tabla 3. Parámetros estadísticos granulométricos y poblaciones de transporte, muestras río Lorohuasi. Donde: Lo1 a Lo8 corresponden a distintos sitios; 16, 17, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2017, 2019 y 2020 respectivamente, a y b: diferentes fechas de muestreo en un mismo sitio, C: centro del cauce del río Santa María y L: centro del cauce del río Lorohuasi.

Table 3. *Granulometric statistical parameters and transport populations, Lorohuasi river samples. Where: Lo1 to Lo8 correspond to different sites; 16, 17, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2017, 2019 and 2020 respectively, a and b: different sampling dates at the same site, C: center of the Santa María riverbed and L: center of the Lorohuasi riverbed.*

(86,5%). La distribución de frecuencias es unimodal, y la asimetría negativa indica una cola hacia los gruesos mientras que la forma mesocúrtica y los valores similares de media-mediana-modas son reflejo de una selección intermedia del material.

La muestra Co2-18, presenta un gran volumen de material transportado por tracción (65%), lo que indica que la muestra está dominada por material grueso, identificable en las media-mediana-modas negativas; la distribución es unimodal con una media en phi -1,27 (sábulo). La asimetría positiva, que corresponde a cola de finos, está reflejando la elevada proporción de material arenoso (principalmente entre phi 0-3), que es transportado por saltación. Esta asimetría positiva sugiere disminución de la energía cinética del flujo.

Para la época de inicios del otoño (marzo-abril) de 2016 en los puntos Co1-16 y Co2-16, el comportamiento del flujo y la dinámica de transporte del material clástico en el tramo analizado del río Colorado es similar. El transporte se produce en un porcentaje de aproximadamente 5% por tracción, entre un 75-85% por saltación y entre un 5-10% por suspensión. En ambos sitios de muestreo hay cola de gruesos, y la pendiente de la curva de FA es equivalente,

sugiriendo que el transporte es dominado por procesos fluviales, sin contribución de procesos aluvionales.

Sobre el río Lorohuasi se tomaron 19 muestras, en un total de ocho sitios, extraídas en distintos años, durante la época de lluvia (verano) y otoño (Figura 5 y Tabla 3). Las muestras sobre el río Lorohuasi, abarcan desde la unión de los ríos Colorado y Alisal (Lo1), hasta la desembocadura del mismo en el río Santa María (Lo8).

Se analizaron por separado las muestras del sitio Lo5 (Figura 6, Tabla 4), ubicado en el puente carretero sobre RN n° 40, para un mejor análisis visual y comparativo de las mismas. Se considera además por separado las muestras de la margen izquierda (Lo5-16-I) y derecha (Lo5-16-D) en el año 2016, a fin de evaluar su comportamiento en el transporte de sedimentos.

Las muestras del sitio Lo1, ubicado aguas abajo de la unión de los ríos Colorado y Alisal, en el sector de mayor pendiente del río Lorohuasi (10%), fueron tomadas con caudal activo.

La muestra de abril del 2016 (Lo1-16) presenta una curva aplanada en el gráfico de FA, con una distribución bimodal, asimétrica negativa (cola de gruesos), con porcentajes transportados por tracción del 10% (pendiente

baja entre ϕ -2 a -1), por saltación 80% (ϕ -1 a 2) y por suspensión del 10%. Es entre meso y platicúrtica demostrando una pobre selección. El desplazamiento de la media y mediana hacia $\phi < 0,5$ (arena muy gruesa) es consecuencia de un P50 en ϕ 1 influenciado por la cola de gruesos.

La muestra tomada en febrero de 2019 (Lo1-19) presenta una curva de alta pendiente en el gráfico de FA, con una distribución unimodal, asimétrica negativa (cola de gruesos), con porcentaje transportado por saltación aproximadamente del 70% (ϕ -2 a 2) y por suspensión del 30%; no se identifican materiales transportados por tracción. Es mesocúrtica, demostrando una mejor selección que la muestra de otoño, y una media de granulometría más fina. El desplazamiento de la media y mediana hacia $\phi > 1,5$ (arena media) es consecuencia de un P50 en ϕ 2 influenciado por la cola de gruesos.

La muestra tomada en junio de 2020 (fin del otoño, Lo1-20) presenta una distribución bimodal, asimétrica negativa (cola de gruesos), con altos porcentajes transportados por saltación 40% (ϕ de 0-2) y por suspensión 59,5%. Es muy platicúrtica, demostrando una pobre selección como consecuencia de la bimodalidad granulométrica. El desplazamiento de la media y mediana hacia ϕ aproximadamente 2 (arena fina) es consecuencia de un P50 en ϕ 3 influenciado por la cola de gruesos.

Resumiendo, las muestras del sitio Lo1, presentan colas de gruesos para diferentes épocas del año (febrero, abril, junio), que provoca el desplazamiento de la media por el aumento de la energía cinética media del flujo. La selección es mejor en verano cuando se registran poblaciones unimodales transportadas por saltación (70%) y suspensión (30%), mientras que durante el otoño son bimodales con proporciones variables del material transportado por saltación (80% a inicios del otoño a 40% a fines del otoño).

En el sitio Lo2, ubicado 400 metros aguas abajo de la unión de los ríos Colorado y Alisal,

se observa que la muestra Lo2-19 tomada en el mes de mayo del 2019 (otoño), con un caudal bajo de 0,038 m³/s, presenta una curva aplanada en el gráfico de FA con una distribución unimodal, asimetría levemente negativa (sutil cola de gruesos), con porcentaje transportados por saltación 90% y suspensión 10%; es mesocúrtica, y junto con los valores similares de media-mediana-moda, demuestra una cierta selección del material.

En el sitio Lo3, ubicado 600 metros aguas arriba del puente carretero (Lo5), la muestra tomada en enero, Lo3-20, con un caudal de 2,79 m³/s, presenta una curva de baja pendiente con quiebres suaves donde el porcentaje de transporte por tracción es del 15%, por saltación 60% y suspensión 25%, el sedimento se encuentra pobremente seleccionado, con asimetría negativa (cola de gruesos) y curva mesocúrtica. La moda (ϕ 2) se desplaza respecto de la media (ϕ 0,87) debido a que el P50 queda influenciado por la cola de gruesos.

En el sitio Lo4, a 300 metros aguas arriba del puente carretero, la muestra Lo4-16, tomada en abril sin caudal en el cauce (representando el sedimento transportado y depositado hasta el último momento de escurrimiento), presenta una curva aplanada en el gráfico de FA, con una distribución bimodal, asimétrica negativa (cola de gruesos), con porcentajes transportados por tracción del 41% (ϕ -2 a -1), por saltación 49% (ϕ 1 a 2) y por suspensión 10%. El sedimento es pobremente seleccionado, los parámetros medios son negativos (arena muy gruesa a grava), mientras que el desplazamiento de la media y mediana hacia $\phi \sim -0,5$ (arena muy gruesa) es consecuencia de un P50 en ϕ -2, influenciado por otra población más fina que define la bimodalidad en el diagrama de frecuencia y la forma platicúrtica.

La muestra de abril 2020 (Lo4-20), con escurrimiento superficial activo, presenta una curva de FA, con una distribución bimodal, curva aproximadamente simétrica muy leptocúrtica, con elevado porcentaje de transporte por saltación (67%). El sedimento es pobremente seleccionado, los parámetros medios son todos

positivos (arena mediana).

En el sitio Lo6, a 600 metros aguas abajo del puente, las curvas Lo6 tomadas en enero con una diferencia de cinco días, presentan distintos comportamientos, posiblemente relacionado al caudal. Por un lado, la muestra Lo6-20a presenta la media en 2 phi (límite arena mediana-fina), el sedimento es pobremente seleccionado curva simétrica mesocúrtica y con transporte por tracción del 7%, saltación 43% y suspensión en mayor porcentaje (50%). Pudiendo observar que el flujo en ese momento es de menor energía que la muestra Lo6-20b (Q: 1,478 m³/s) que presenta una media más fina en phi 2,43 (arena fina), el sedimento es moderadamente seccionado con curva negativa mesocúrtica, el transporte por tracción no está identificado en el gráfico de FA; por saltación es de 70% (phi -1 a 3) y por suspensión de 30%.

Para ambas muestras, la asimetría es ne-

gativa, que en el caso de Lo6-20a es muy cercano a 0 identificable en similares valores de media-mediana-moda, mientras que en Lo6-20b es producto de una cola de gruesos que desplaza la moda de la media-mediana.

En el sitio Lo7 ubicado 1 km aguas abajo del puente carretero, la muestra Lo7-20, con un caudal de 1,616 m³/s, presenta sedimentos pobremente seleccionados, curva negativa mesocúrtica, el transporte por tracción-saltación-suspensión es 5-55-40% respectivamente. Mientras que la asimetría negativa con cola de gruesos es similar a lo identificado 400 m aguas arriba en Lo6, con una media en arena media (~1,5 phi).

En el sitio Lo8, ubicado en la unión del río Lorohuasi con el río Santa María, se observa que Lo8-17C (centro del cauce del río Santa María), el sedimento es moderadamente bien seleccionado, curva asimétrica negativa meso- a leptocúrtica, que indica mejor selección del ma-

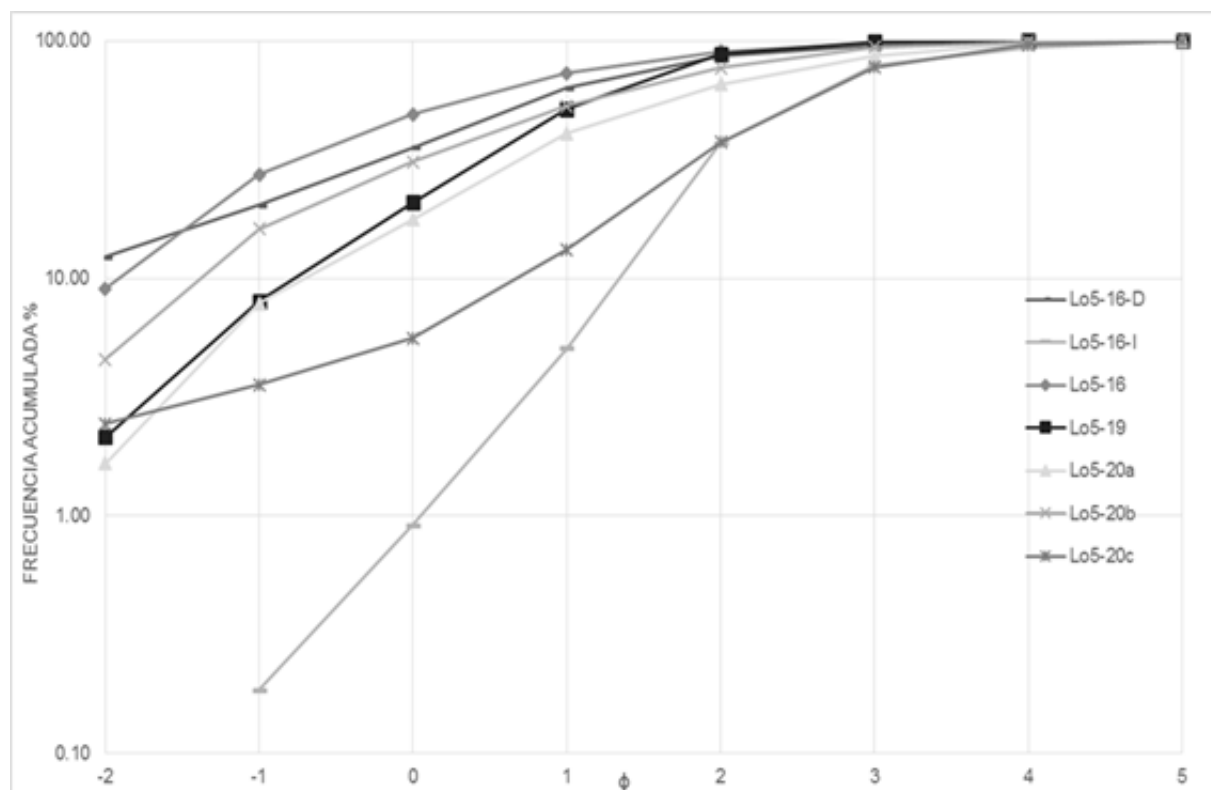


Figura 6. Curvas de frecuencia acumulada (FA), muestras sobre río Lorohuasi puente carretero (Lo5). Donde: 16, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2019 y 2020; D: margen derecha del cauce; I: margen izquierda del cauce; a, b y c: diferentes fechas de muestreo para un mismo sitio; ϕ : tamaño de grano.

Figure 6. Accumulated frequency curves (EA), samples on the Lorohuasi river highway bridge (Lo5). Where: 16, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2019 and 2020; D: right bank of the channel; I: left bank of the channel; a, b and c: different sampling dates for the same site; ϕ : grain size.

terial, con una media en 3,07 phi (arena muy fina), el transporte por tracción es bajo (1,5%), saltación 45% y alto porcentaje de transporte por suspensión > 50%. Mientras que la curva Lo8-17L, tomada sobre el cauce del río Lorohuasi, la media disminuye a 1,23 (arena mediana), posiblemente por acción del viento que lleva el material fino, el sedimento es pobremente seleccionado, la curva de frecuencias es

asimétrica levemente negativa, que implica cola de gruesos (se observa en el desplazamiento de la moda en el gráfico de FA) y mesocúrtica. El transporte por tracción no es posible identificarlo, mientras que por saltación se moviliza un 50% y otro equivalente por suspensión, el sedimento muestra menor selección que el del río Santa María.

Para el sitio Lo5, puente carretero sobre

Muestra	Parámetros granulométricos (ϕ)						Caudal m ³ /s	Poblaciones %		
	Media	Mediana	Moda	Desviación	Asimetría	Curtosis		Tracción	Saltación	Suspensión
Lo5-16-D	0.3	0.6	1	1.73	-0.23	1.13	-	0	37,5	62,5
Lo5-16-I	2.33	2.3	3	0.82	0.03	0.89	-	20	40	40
Lo5-16	0.03	0.1	1	1.5	-0.06	0.88	No	30	60	10
Lo5-19	0.78	0.95	2	1.1	-0.27	0.98	0.0917	8	82	10
Lo5-20a	1.37	1.4	2	1.5	-0.1	0.98	2.565	8	77	15
Lo5-20b	0.65	0.85	2	1.54	-0.18	0.84	-	15	75	10
Lo5-20c	2.23	2.35	3	1.1	-0.24	1.23	3.991	5	75	25

Tabla 4. Parámetros estadísticos granulométricos y poblaciones de transporte, muestras río Lorohuasi puente carretero. Donde: 16, 19 y 20 corresponden a los años 2016, 2019 y 2020; D: margen derecha del cauce; I: margen izquierda del cauce; a, b y c: diferentes fechas de muestreo para un mismo sitio. / **Table 4.** Granulometric statistical parameters and transport populations, samples Lorohuasi river highway bridge. Where: 16, 19 and 20 correspond to the years 2016, 2019 and 2020; D: right bank of the channel; I: left bank of the channel; a, b and c: different sampling dates for the same site.

río Lorohuasi, se presentan las curvas de FA (Figura 6) y Tabla 4 de resumen de parámetros estadísticos y poblaciones de transporte.

Las curvas Lo5-16-D (margen derecha del cauce) y Lo5-16-I (margen izquierda del cauce), recolectadas en enero, con caudal en el río desplazándose en mayor proporción por la margen derecha del cauce, presentan marcadas diferencias en cuanto a selección, la cual es mejor en la margen izquierda, en cambio la margen derecha presenta pobre selección del sedimento, sugiriendo que la margen derecha del cauce en este sitio se encuentra desestabilizada y afectada por procesos de remoción desde la margen.

La curva Lo5-16-I, presenta la media en 2,3 phi (arena fina). La distribución es unimodal con asimetría ~ 0 , platicúrtica, sugiriendo buena selección, se observa transporte por tracción en un 20%, saltación 40% y suspensión en un 40%.

La curva Lo5-16-D presenta la media en 0,3 phi (arena gruesa), el transporte por tracción es nulo, el material se transporta por saltación (37,5%) y por suspensión (62,5%). Los paráme-

tros estadísticos reflejan sedimento pobremente seleccionado, curva negativa meso a leptocúrtica. Este comportamiento evidencia un aumento de viscosidad del fluido que se observa en la forma semi-plana en el gráfico de FA y responde en parte a la bimodalidad de la distribución de frecuencias.

La muestra Lo5-16, tomada en marzo sin caudal en el cauce, 50 días después que las muestras Lo5-16-I-D, presenta una curva de baja pendiente (con quiebres sutiles en curva de FA). Con una media en 0,03 phi (arena gruesa-muy gruesa) y una moda en phi: 1 (arena mediana), cuya variación es producto de una cola de gruesos (asimetría levemente negativa). El sedimento es pobremente seleccionado, curva aproximadamente simétrica platicúrtica, mostrando que el sedimento que fue dejado por el río entre el período húmedo (con caudal) y el momento en que se insume es granulométricamente arena gruesa-muy gruesa y que los mismos fueron transportados mayormente por saltación por el flujo de agua mientras circuló. Estos sedimen-

tos son susceptibles de ser re trabajados por el viento en el período otoño-primavera.

La curva de FA de Lo5-19, con un caudal bajo de 0,0917 m³/s, representa el sedimento pobremente seleccionado, con mayor cantidad de sedimentos gruesos y curtosis mesocúrtica, transporte dominado por saltación y transporte por tracción subordinado (cola de gruesos). Esto último se aprecia en el desplazamiento de la moda hacia fracciones más finas que la media y asimetría negativa en la distribución de frecuencias.

Las muestras Lo5-20a, b y c, fueron tomadas en el mes de enero con caudal en el río, presentan un comportamiento similar, todas ellas tienen una distribución unimodal, son asimétricas negativas (cola de gruesos), con aumento en el contenido de finos en suspensión para el 27/01/2020 (Lo5-20c); esto último se visualiza en el incremento de la moda- media- mediana hacia fracciones de arena fina, y coincide con un evento de precipitación y aumento de caudal (~4 m³/s).

Es notable la variación de la curtosis según la fecha, desde meso, luego plato y finalmente leptocúrtica, situación derivada de las variaciones del flujo y el aporte de sedimentos finos y menor selección en Lo5-20b. En este sentido, el aumento de caudal en Lo5-20c se corresponde con aumento de la selección donde los transportes por tracción-saltación-suspensión están mejor definidos, con cambios de pendientes netos. En cambio, las muestras del 16/01 y 24/01 (Lo5-20a y Lo5-20b) presentan pendientes más abruptas desde ϕ -2 a ϕ 0, con cambios de pendiente graduales hasta ϕ 5.

El análisis granulométrico del sedimento a la altura del puente (Lo5) permite identificar un comportamiento similar en diferentes años durante el verano (enero a marzo). Ya que las muestras analizadas tienen una distribución unimodal, son asimétricas negativas (cola de gruesos), con aumento en el contenido de finos en suspensión para el Lo5-20c.

Las diferencias observadas en el sitio Lo5 (puente carretero) en cuanto a las poblaciones de transporte pueden estar relacionadas al mo-

mento hidrológico, ya que, a mayor caudal, mayor energía del flujo ácuo, que presenta altos porcentajes transportados por saltación y suspensión. A su vez, los eventos de precipitaciones torrenciales en el verano provocan que el volumen del flujo sea mayor y más turbulento, incorporando grandes volúmenes de sedimentos finos y desarrollando un transporte por suspensión predominante a lo largo de la cuenca dentro del flujo denso.

En líneas generales, la granulometría media de todo el material analizado transportado en la cuenca del río Lorohuasi es arena media (ϕ 1,15), con media-mediana-moda en la misma fracción, la distribución es mesocúrtica, simétrica y el material es pobremente seleccionado (desviación estándar 1,38).

Al integrar los datos de todos los sedimentos analizados en diagramas bi-variados, se observa que la relación entre Desviación estándar (selección) vs Asimetría (Figura 7) tiende a ser elipsoidal, pudiendo identificarse una sola población textural que demuestra la heterogeneidad de los sedimentos en el lecho actual de los ríos a lo largo de los diversos tramos de la cuenca.

En líneas generales, la desviación estándar tiende a disminuir desde aguas arriba (sitio Lo1, confluencia de los ríos Colorado-Alisal) hacia aguas abajo, en la desembocadura en el río Santa María (sitio Lo8), permitiendo inferir que la selección aumenta aguas abajo, luego de la confluencia de los ríos Colorado-Alisal (disminuye la desviación estándar calculada como promedio para cada punto).

Considerando la dispersión de todos los sedimentos, se reconoce una marcada heterogeneidad en los mismos, sin correlación entre los parámetros desviación estándar, curtosis y asimetría con respecto a la media. Esto puede ser consecuencia de la diversidad de tamaños de las partículas que componen los sedimentos y que son consecuencia de:

i) Material aportado a la cuenca: en este sentido, el material aportado a la cuenca (parental) en los diversos tramos del río, define la granulometría al ingreso. A su vez, el tipo de

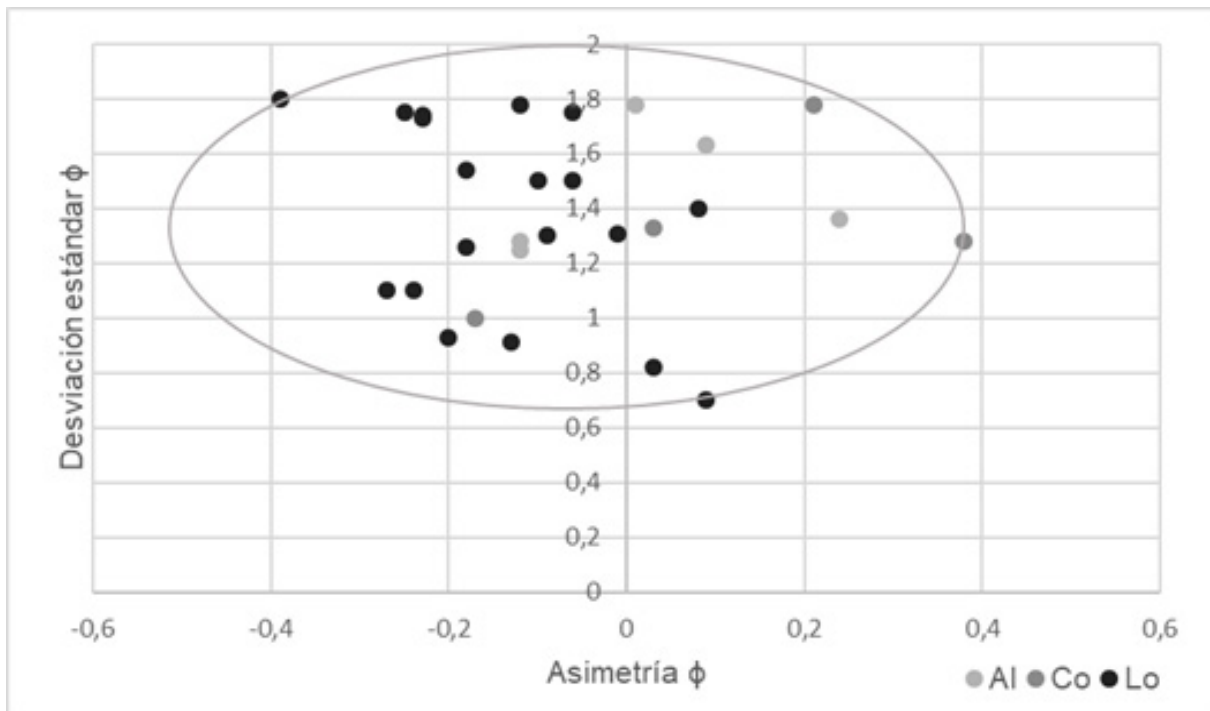


Figura 7. Relación entre Desviación estándar y Asimetría de todas las muestras analizadas en la cuenca del río Lorobuasi. Donde: Al indica río Alisal; Co río Colorado y Lo río Lorobuasi. / **Figure 7.** Relationship between standard deviation and skewness of all the samples analyzed in the Lorobuasi river basin. Where: Al indicates the Alisal river; Co Colorado river and Lo Lorobuasi river.

proceso que desencadena su incorporación (remoción, lluvias estacionales o aluviones) contribuirá a las diversas fracciones presentes, como las colas de finos en caso de los aluviones. Algunos autores consideran que la granulometría que caracteriza un sedimento está principalmente definida por el tipo litológico parental (sedimentario, ígneo, metamórfico) y su granulometría (gruesa, media, fina), y no tanto por los procesos de transporte o ambiente de deposición, pudiendo variar la granulometría a lo largo del cauce según los tipos litológicos aflorantes en dichos tramos (McLaren, 1981; Sing *et al.*, 2007). En la Figura 1 se observa que en la parte alta de la cuenca predominan rocas metamórficas (Complejo Metamórfico) y rocas graníticas, mientras que en la parte baja de la cuenca predominan los depósitos aluviales y eólicos.

ii) Mecanismos y dinámica de transporte: el valor de la media (ϕ) aumenta desde las cabeceras hacia la desembocadura, indicando un proceso de selección hidráulica debido a dos condiciones físicas. Una es la de reducción de tamaño del material durante el transporte, principalmente por abrasión (la media es >0 en to-

dos los puntos a partir de la confluencia de los ríos Colorado-Alisal, con excepción de Lo4 de abril 2016, tomada sin caudal). La otra condición es la disminución de energía del flujo como consecuencia de la disminución de la pendiente y el ensanchamiento del cauce. A su vez, el valor de la media (ϕ) tiende a definir una relación inversa con respecto al porcentaje del material transportado por tracción, ya que el transporte por tracción disminuye con el aumento del tamaño medio (ϕ), es decir con la disminución del tamaño de grano.

iii) Cambios de pendiente: la tendencia de la asimetría hacia lo positivo (cola de finos) solo se registra para las muestras del río Colorado (Co1 y Co2) y la unión del Alisal-Las Bolsas (Al2). Para las muestras del resto de la cuenca del Lorobuasi domina la tendencia simétrica y asimétrica negativa (cola de gruesos), con un valor asimétrico muy negativo en la unión Colorado-Alisal (Lo1) que coincide con las mayores pendientes medidas en la cuenca. Las variaciones de pendiente a lo largo de la cuenca demuestran un cambio abrupto a la altura del sitio Al3, luego de la toma de agua. En este sentido,

el quiebre en la pendiente ha sido uno de los condicionantes de selección del punto de instalación de esta toma.

La distribución de las muestras en un gráfico de Percentil 1 (ϕ_1) vs Mediana (ϕ), define una naturaleza fluvial para el material transportado, identificándose a su vez dos poblaciones diferentes (Figura 8), las muestras desplazadas hacia granulometrías más finas se encuentran a diferentes alturas de los cursos de agua analizados, siendo: Al1-20a, Al2-20, Lo1-19 y 20, Lo2-19, Lo4-20, Lo5-16-D, Lo6-20a y b, Lo8-17C y L. Estas muestras reflejan algunas características particulares que definen aquella distribución gráfica. En el caso del río Alisal, la muestra de cabecera (Al1-20a) conserva la impronta del material aportado desde las laderas que no es movilizado por remoción o durante las épocas de lluvias por el escurrimiento superficial o durante el aluvión; mientras que los datos arrojados por la muestra en la confluencia con el arroyo Las Bolsas (Al2) sugieren un au-

mento de viscosidad del flujo que promueve la movilización aguas abajo del material más grueso. En las muestras Lo1-19, Lo2-19 y Lo4-20 el mecanismo de transporte está dominado por saltación. Para la muestra Lo5-16-D debe considerarse que esta margen derecha se encuentra desestabilizada y puede estar condicionada por procesos de remoción desde la margen. Para las muestras del sitio Lo6, la media es de arena media a límite arena media-fina y la simetría es negativa. Las muestras de desembocadura del Lorohuasi (Lo8-17L) y del Santa María (Lo8-17C), muestran similitudes en el valor de P1, siendo muy bajo o nulo el porcentaje de sedimento transportado por tracción. Si bien el Percentil 1 puede relacionarse con la fracción más gruesa de la muestra en el diagrama de FA, al comparar las pendientes de las curvas que definen el mecanismo de transporte y calculando el porcentaje correspondiente a cada tipo (tracción, saltación y suspensión), se reconoce que las dos poblaciones de la figura 8 no guardan relación

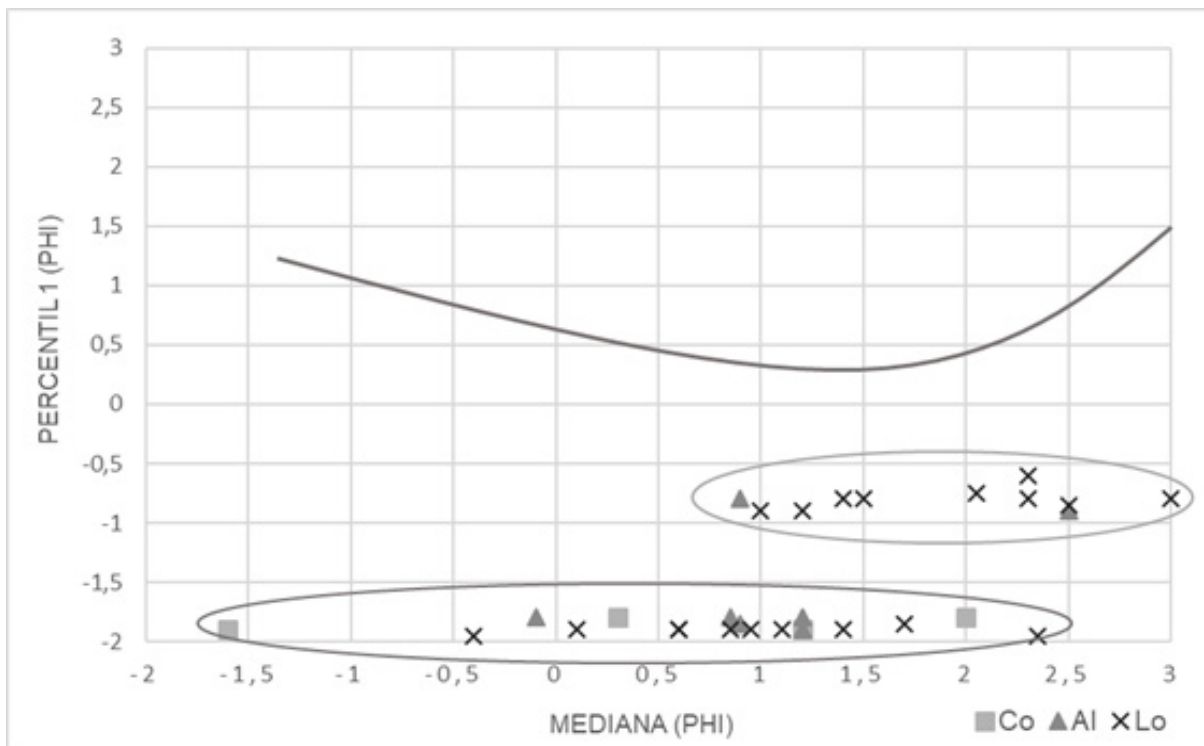


Figura 8. Gráfico de Percentil 1 (ϕ_1) vs Mediana (ϕ) para todas las muestras analizadas de la cuenca del río Lorohuasi. Adaptado de Passega, 1957. Donde la línea gris marca el límite entre arenas de dunas (arriba) y de río (abajo); las figuras circulares definen las dos poblaciones de sedimentos presentes; Co indica río Colorado; Al, río Alisal y Lo, río Lorohuasi.

Figure 7. Graph of Percentile 1 (ϕ_1) vs Median (ϕ) for all the samples analyzed from the Lorohuasi river basin. Adapted from Passega, 1957. Where the gray line marks the boundary between dune sands (above) and river sands (below), the circular figures define the two populations of sediments present; Co indicates Colorado River; Al, Alisal river and Lo, Lorohuasi river.

alguna con respecto al tipo de transporte.

A su vez, se consideró el método desarrollado por Passega (1957; 1964), y la revisión efectuada por Houbrechts *et al.* (2013), que utilizan D99 vs D50 (en μm) en la confección de diagramas de tipo CM. Los autores identifican al tamaño del elemento grande de un sedimento ($D99 = C$) como uno de los indicadores más representativos del transporte porque representa el límite de la competencia de la corriente que depositó el sedimento y permite caracterizar su turbulencia; y al D50 ($D50 = M$) como indicador del grado de clasificación del sedimento. El gráfico de Passega (1957, 1964), que integra segmentos a los que corresponden los proce-

sos y modos de transporte del sedimento por suspensión uniforme (Cu), suspensión graduada (Cs) y rodante (Cr), permite reconocer que todas las muestras en estudio se encuentran por encima del límite Cr. Esto indica que el tamaño mínimo de granos transportados fácilmente en el río por rolo, sobre el fondo del lecho, es $1.344 \mu\text{m}$ ($\phi = -0,6$, arena muy gruesa), dentro del segmento OP, que identifica al material aluvional transportado por laminación. Este segmento se interpreta como depósitos cuyos elementos han sido establecidos principalmente por rolo, pero de los cuales, parte de los granos provienen de la suspensión inferior, y se los puede observar principalmente en el fondo del

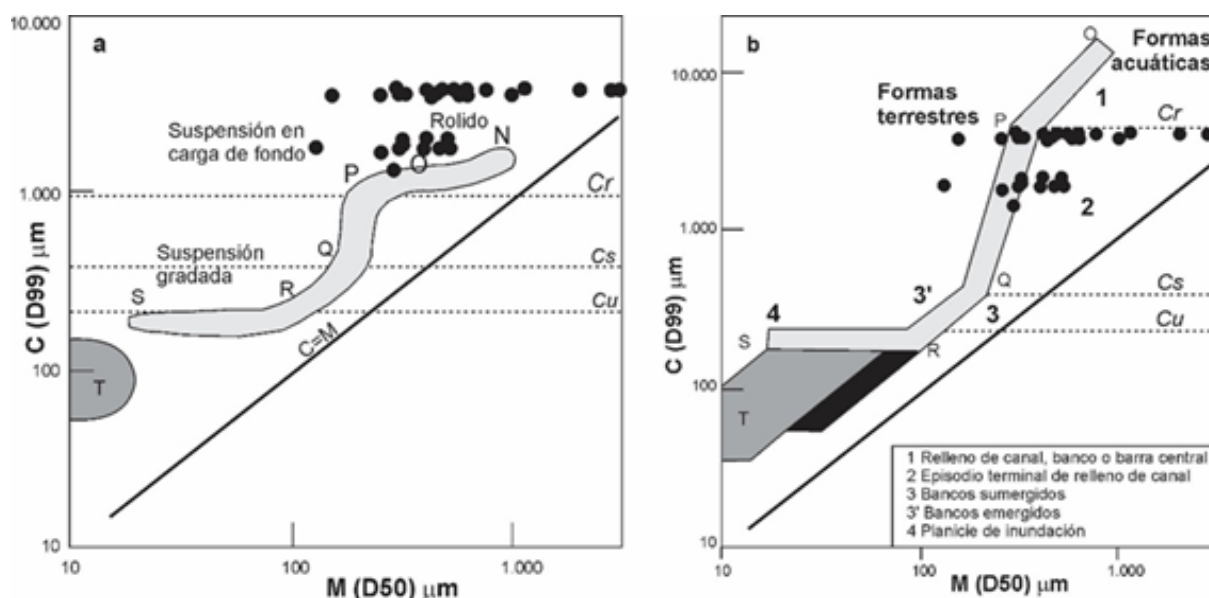


Figura 9 a. Diagrama CM, adaptado de Passega, 1964. Donde: Cu: transporte del sedimento por suspensión uniforme, Cs: suspensión graduada y Cr: transporte por rolo. El segmento NO: depósitos de grava colocados por laminación; segmento OP: depósitos principalmente por laminación; tramo PQ: corresponde a la transición entre el transporte por suspensión graduada y rolo; segmento QR: depósitos de sedimentos mediante suspensión graduada; segmento RS: agrupa los depósitos por suspensión uniforme; T: corresponde a la sedimentación de depósitos en un medio pelágico. / **Figure 9 a.** CM diagram, adapted from Passega, 1964. Where: Cu transport of sediment by uniform suspension, Cs graduated suspension and Cr transport by rolling. The segment NO gravel deposits placed by rolling; segment OP deposits mainly by lamination; section PQ corresponds to the transition between transport by graduated and rolled suspension; the QR segment deposits sediments by graduated suspension; the RS segment groups the deposits by uniform suspension; T corresponds to the sedimentation of deposits in a pelagic environment.

Figura 9 b. Diagrama CM, condiciones de sedimentación, según Bravard y Peiry, 1999. Donde: Cu: transporte del sedimento por suspensión uniforme, Cs: suspensión graduada y Cr: transporte por rolo. El segmento NO: depósitos de grava colocados por laminación; segmento OP: depósitos principalmente por laminación; tramo PQ: corresponde a la transición entre el transporte por suspensión graduada y rolo; segmento QR: depósitos de sedimentos mediante suspensión graduada; segmento RS: agrupa los depósitos por suspensión uniforme; T: corresponde a la sedimentación de depósitos en un medio pelágico. / **Figure 9 b.** CM diagram, sedimentation conditions, according to Bravard and Peiry, 1999. Where: Cu transport of sediment by uniform suspension, Cs graduated suspension and Cr transport by rolling. The segment NO gravel deposits placed by rolling; segment OP deposits mainly by lamination; section PQ corresponds to the transition between transport by graduated and rolled suspension; the QR segment deposits sediments by graduated suspension; the RS segment groups the deposits by uniform suspension; T corresponds to the sedimentation of deposits in a pelagic environment.

lecho del río (Figura 9 a).

El comportamiento de los sedimentos muestreados se reconoce en otros ríos en las zonas de cabecera y altas de la cuenca (Bravard y Peiry, 1999). Bravard y Peiry (1999) indican que muchos parámetros específicos de cada arroyo (energía disponible, ancho y pendiente de la llanura aluvial, estilo fluvial, características de los sedimentos en la cuenca, etc.) influyen en las características de la distribución en el diagrama CM. Estas diferentes situaciones pueden estar condicionando la distribución de las muestras, ya que tanto D99 como D50 son variables para los cursos de agua estudiados (entre 1.344-3.800 μm y 125-3.046 μm , respectivamente), con valores del primer parámetro muy por encima del segundo. Esto podría indicar también la presencia de algunos productos secundarios transportados por laminación dentro de depósitos en suspensión graduada causando un valor relativamente grande de D99 en comparación con el D50. A su vez, se reconocen dos grupos de valores de D99 en los rangos: 1.300-2.020 y 3.600-3.900 μm , que podrían indicar la proporción de suspensión de fondo que acompaña al rolido.

Sin embargo, cada segmento puede variar en su longitud y punto de quiebre. Un primer ajuste al gráfico CM fue realizado al trabajar con facies terrestres más antiguas (lecho mayor) y de lecho activo (lecho menor), en las que la posición gráfica de Cr para los diagramas CM muestra un cambio desde D99= 1.000 μm (Pasega 1957, 1964) hacia D99= \sim 5.000 μm (Bravard y Peiry, 1999). Los datos incluidos por los autores representan la condiciones variables de un aluvión depositado durante las inundaciones que tiene firmas de tamaño de partícula que son características del modo de transporte y del medio sedimentario en el que se encuentra acumulado. De hecho, cada facies sedimentaria puede ser atravesada por corrientes de turbulencia variable, dependiendo de su posición en relación al cauce, topografía, etc. por lo tanto, un análisis particular de los parámetros registrados en cada muestra y sus condiciones dinámicas debe ser realizado, como lo indicara Houbrechts *et al.*

(2013).

En el gráfico reconstruido por Bravard y Peiry (1999) (Figura 9 b) todas las muestras estudiadas se encuentran debajo del punto P, tanto cerca del límite Cr y dentro del segmento PQ, que define la transición entre el transporte por suspensión graduada y por rolido, que corresponde con los resultados obtenidos de las curvas de FA donde se reconocen granulometrías transportadas por tracción (rolido), saltación y suspensión. A su vez, tres muestras analizadas registran valores de D50 bajos (125-250 μm) y se encuentran gráficamente en el campo de formas terrestres: Co1-19 y Co2-18 en el río Colorado, y Lo8-17L en el cauce del río Lorohuasi cerca de la desembocadura en el río Santa María. Todas ellas fueron tomadas en un cauce sin flujo áqueo, por lo cual se interpreta que representan sedimentos depositados previamente, o bien sedimentos de “lecho mayor” (Figura 9 b).

Con respecto a las muestras que se encuentran sobre el campo de las formas áqueas se encuentran muestras distribuidas en tres campos:

- i) Por encima de D99=3.700 μm : Lo1-16, Lo5-16 y Lo5-20c, todas tienen colas de gruesos que producen el desplazamiento de D50 hacia valores más altos. Son sedimentos de lecho activo, de relleno de canal, ya sea correspondiente a un banco o barra central.
- ii) Por debajo de D99=2.100 μm : Al1-20a, Al2-20, Lo5-16-D, Lo6-20a, Lo6-20b, son muestras que tienen distribución unimodal o muy débilmente asimétricas. Son sedimentos de lecho activo, y como D50 es menor (312-250 μm) se interpreta como representando un episodio terminal de relleno de canal, por un flujo de menor energía y menor capacidad, que transporta sedimento más fino. Las muestras Lo1-19, Lo1-20, Lo2-20, Lo4-20 y Lo8-17C presentan variaciones en el valor de D50 producto principalmente de las colas de gruesos, en ellas es común el transporte por saltación.
- iii) En inmediaciones del límite Cr: inclu-

ye las muestras Co1-20, Co2-16, Al1-20b, Al3-20, Al4, Lo3-20, Lo4-16, Lo5-16-I, Lo5-20 (a-b-c), Lo7-20. La mayoría de ellas suman entre 60-90% del transporte por tracción/saltación, y a excepción de Lo5-16-I todas registran cola de gruesos en diversa medida.

Conclusiones y consideraciones finales

El río Colorado presenta un comportamiento típicamente fluvial, donde las diferencias observadas en las muestras están relacionadas con la época de muestreo, ya que en verano hay mayor caudal en el cauce para movilizar sedimentos por saltación y suspensión, y luego en época de estiaje (otoño/invierno) el menor caudal transporta sedimentos menos seleccionados, sugiriendo que el río abandona los sedimentos gruesos ($\phi -2$ a -1) en este tramo.

En cuanto a las características del río Alisal, se puede observar que, con excepción de las muestras del sitio Al1, las demás tienen un comportamiento similar en cuanto a su transporte a lo largo del curso fluvial, entre los 2.712 y 1.830 m s.n.m., con pendientes entre 20 y 12%. Los datos obtenidos en los puntos de muestreo que presentan variaciones, necesariamente tienen la impronta de procesos particulares en el cauce del río Alisal. La muestra de cabecera (AL1-20a) posiblemente refleja que el material gravoso aportado desde las laderas (principalmente por deslizamientos) es acarreado aguas abajo durante las épocas de lluvias por el escurrimiento superficial o durante el aluvión, y ese transporte está condicionado por: i) la pendiente en la cabecera, ii) el volumen pluviométrico en este punto. Aguas debajo de la confluencia del río Alisal y arroyo Las Bolsas, con pendientes $< 16\%$, se reconoce que entre el verano (2019) y el invierno (2020) hay una disminución de la cola de gruesos: se interpreta que el aporte de material al cauce se debe a procesos de remoción o incorporación de material grueso desde las terrazas, ya que la falta de cola de finos indica la ausencia de aluviones para la época anali-

zada (2019). A su vez, en el tramo del río entre los sitios Al3 y Al4, los cambios en la asimetría, de simétrica a negativa, están dados por la disminución de la pendiente (12 a 10 %) y el ensanchamiento de la llanura aluvial de 73 metros en Al3 a 600 metros aproximadamente en Al4, produciéndose una disminución de la energía del flujo, abandonando los materiales de granulometrías medianas y gruesas.

La presencia de la toma sobre el Alisal (entre sitios Al2 y Al3), una toma-parrilla situada en la margen derecha del cauce, es una obra que genera cambios en la granulometría del material que continúa su transporte en el cauce. Esto es particularmente visible en la curvas de frecuencia acumulada, donde la muestra inmediatamente abajo de la toma (Al3-20) registra casi un 20% de material entre $\phi -2$ y -1 , mientras que en el próximo punto de muestreo (Al4-20) esta proporción disminuye a 8%. Se interpreta que la toma tiene la capacidad de contribuir a la retención del material más grueso que $\phi -1$.

En el río Lorohuasi (10,8 km de longitud) se observa, en líneas generales, que a mayor pendiente del cauce (sitios Lo1 y Lo2, con pendientes del 10% y 7% respectivamente) el transporte por saltación y suspensión es predominante y todas las muestras presentan cola de gruesos. Luego, el río disminuye su pendiente de 2,5% para el sitio Lo3, a $\sim 1\%$ en Lo8, y el ancho del cauce aumenta a 25 metros promedio, conservando la dominancia de cola de gruesos y sedimentos pobremente seleccionados.

La parte alta de la cuenca del río Lorohuasi se halla conformada por basamento geológico metamórfico y granítico del Proterozoico; y en la parte media-alta se encuentran depósitos cuaternarios de abanicos aluviales (Peña Monné *et al.*, 2016). En este sentido, el material aportado a la cuenca (parental) en los diversos tramos del río, define la granulometría al ingreso. A su vez, el tipo de proceso que desencadena su incorporación (remoción, lluvias estacionales o aluviones) contribuirá a las diversas fracciones presentes, como las colas de finos en caso de los aluviones.

En las zonas de cuenca media, sobre las

laderas que confinan el valle de los ríos Colorado y Alisal, y Lorohuasi, existen campos dedicados a la cría de ganado donde se produce pastoreo y compactación del terreno, los cuales son más evidentes en las laderas del río Alisal entre los tramos Al2 y Al4. Estos procesos derivados de la actividad económica de subsistencia de los pobladores son factibles de incidir sobre las zonas de descalce de laderas y empobrecer las condiciones de sustento de los suelos, que en consecuencia incrementan los procesos erosivos, de manera puntual, y por ende modificarán eventualmente los volúmenes de material ingresado a la cuenca.

En el tramo del río Lorohuasi, desde aguas arriba del puente hasta la unión del río Lorohuasi con el río Santa María (Lo4- Lo8), las modificaciones en la configuración del cauce, generarían cambios en la dinámica de transporte. El cauce, en este tramo, fue rectificado y reducido en su ancho, desde la década del 60 hasta la actualidad, para el uso de tierras para agricultura y urbanización; a su vez, ambas riberas presentan taludes (bordos) de arena acumulada. Así mismo, la margen derecha de río presenta estructuras gavionadas de protección; todas estas alteraciones afectan la conectividad ribera-cauce. (Villagrán, 2013; Varela Ituarte *et al.*, 2018; Alvarado y Ferreira, 2019), pudiendo interpretarse en la mala selección del material de las muestras analizadas.

En el tramo Lo4 a Lo6, (aguas arriba y abajo del puente) la actividad de extracción de áridos, genera modificaciones puntuales que están afectando las riberas y el cauce (profundización del nivel de base), en correlación en este tramo se observa que las muestras de sedimentos presentan grandes variaciones de la media-mediana-moda y de los parámetros estadísticos, posiblemente relacionado con procesos de remoción desde las márgenes.

Algunas consideraciones deberán tenerse en cuenta a futuro, diagramando un monitoreo regular de los sedimentos, ya que la granulometría de los aluviones en toda la cuenca puede cambiar rápidamente (decenas de años) junto con las fluctuaciones en las condiciones de flujo,

variabilidad hidrológica y desarrollos de obras en el canal, modificando la relación D99-D50.

También se plantea un monitoreo del material de acarreo en la zona urbana a fin de cuantificar el material activo en el cauce y estimar los volúmenes óptimos de extracción utilizando los lineamientos y metodologías propuestas por Gutiérrez (2018) para la cuenca baja del río César (Colombia).

Se concluye que las características físicas de la cuenca y las actividades antrópicas influyen en la granulometría de los sedimentos analizados, y que técnicas de rehabilitación en áreas de riberas afectadas podrían devolver la funcionalidad de las mismas y proteger el sistema fluvial.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo académico y financiamiento a CONICET, PIP: 11220150100196 y a la Universidad Nacional de Salta. El presente trabajo forma parte de las tesis doctorales de la Ing. Daniela Quintero y Lic. Silvia Ferreira.

Referencias

- Alarcón J. J., Szupiany R., Montagnini M. D., Gaudin H., Prendes, H. H. y Amsler M. L. 2003. Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Paraná. En: *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Argentina: Ezeiza.
- Alberti, M. 2005. The effects of urban patterns on ecosystem function. *International regional science review*, 28(2), 168-192.
- Allen, J. R. L. 1994. A continuity-based sedimentological model for temperate-zone tidal salt marshes. *Journal of the Geological Society*, 151(1), 41-49.
- Alonso, R.N. 2013. Geografía física del Norte Argentino (Salta y Jujuy). Ensayos sobre la geomorfología del paisaje andino. Mundo Gráfico, Salta Editorial, pp. 276.
- Alvarado, A. S. y Ferreira, S. E. 2019. Pérdida de biodiversidad en tres sectores de Monte de riberas en un tramo del río Lorohuasi (Cafayate, Salta- Argentina) afectados por disturbios. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 9(1): 161-164.
- Bagnold, R. A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. William Morrow & Company (Ed.). New

- York.
- Belnap, J., Munson, S. M. and Field, J. P. 2011. Aeolian and fluvial processes in dryland regions: the need for integrated studies. *Ecology*, 4(5), 615-622.
- Bernhardt, E. S. and Palmer, M. A. 2007. Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738-751.
- Bravard, J. P. and Peiry, J. L. 1999. The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplains along the river continuum. In Marriot S. & Alexander J. (Eds.) *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*. Geological Society of London, 259-268.
- Buondonno, A., Capra, G.F., Di Palma, D., Grilli, E. and Vigliotti, R.C. 2018. Pedotechnologies for the Environmental Reclamation of limestone quarries. A protocol proposal. *Land Use Policy*, 71: 230-244.
- Carvalho, M.A., Fernandes, V.O. y Alixandrini, M.J. 2011. Análise da influência ambiental de pedreiras localizadas em áreas urbanas a partir da classificação de imagens multitemporais. Anais do XV *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 5876–5884. Curitiba, Brazil.
- Contreras Galdames, F.A. 2018. Estudio de la geoquímica de sedimentos activos del río Copiapó luego de las inundaciones aluvionales de marzo 2015. Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de geología.
- Downs, P.W., Dusterhoff, S.R. and Sears, W.A. 2013. Reach-scale channel sensitivity to multiple human activities and natural events: Lower Santa Clara River. California, USA. *Geomorphology*, 189: 121-134.
- Espinoza, P.C. y Ferreira, S.E. 2019. Relevamiento de los puestos ganaderos en la cuenca del río Lorohuasi (Cafayate, Salta-Argentina) y su influencia en los procesos erosivos. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 9(1): 103-106.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. 1957. Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26.
- Folk, R.L. 1962. Of skewnesses and sands. *Journal of Sedimentary Research*, 32(1), 145-146.
- Galván, A.F. 1981. Descripción geológica de la HOJA 10 e, Cafayate. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires.
- Gibson, S. and Shelley, J. 2020. Flood disturbance, recovery, and inter-flood incision on a large sand-bed river. *Geomorphology*, 351, 106973.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. 1998. Restauración de ríos y riberas. Escuela técnica superior de Ingenieros de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar. *Ediciones Mundi-prensa*. Madrid.
- Gregory, K.J. 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79: 172-191.
- Gualdoni C.M., Duarte C.A. y Medeot, E. A. 2011. Estado ecológico de dos arroyos serranos del sur de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral* 21: 149-162.
- Gutiérrez, G. 2018. Análisis de renovabilidad y volúmenes de explotación de material de arrastre en cauces activos. En: *IX Congreso Iberoamericano de control de la erosión y los sedimentos*, 24-36.
- Hadley, R. F. 1977. Some concepts of erosional processes and sediment yield in a semi arid environment. In: *Erosion: research Techniques, Erodibility and Sediment delivery*, (ed. T. J. Toy), 73-81. Geo Books, Norwich.
- Houbrechts, G., Hallot, É., Levecq, Y., Denis, A. C., Van Campenhout, J., Peeters, A., and Petit, F. 2013. Images CM de Passega des rivières ardennaises. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 61, 37-68.
- INDEC. 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Disponible online en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>.
- Inman, D.L. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 22(3), 125-145.
- Laronne, J. B. and Shulker, O. 2002. The effect of urbanization on the drainage system in a semiarid environment. *Global Solutions for Urban Drainage*. pp. 1-10.
- Maroulis, J. C., Nanson, G. C., Price, D. M. and Pietsch, T. 2007. Aeolian-fluvial interaction and climate change: source-bordering dune development over the past~ 100 ka on Cooper Creek, central Australia. *Quaternary Science Reviews*, 26(3-4), 386-404.
- McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Research*, 51(2), 611-624.
- Minetti, J. L., Poblete, A. G., y Longhi, F. 2005. Los mesoclimas del Noroeste argentino. J. L. Minetti (ed.). *El clima del Noroeste Argentino* (pp. 217–233). San Miguel de Tucumán: Ed. Magna.
- Miserendino, M.L., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzi, C.Y., Brand, C. and Kutschker, A.M. (2011). Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of the total environment*, 409(3), 612-624.
- Morandi J.L. 2014. Carta Acuerdo FAO- INTA. Identificación de posibilidades de ampliación del riego en los Valles Calchaquíes. *Caracterización de los sistemas de riego de los Valles Calchaquíes*. Informe final en: <http://www.fao.org/3/a-br165s.pdf>.
- Morley, S.A. and Karr, J.R. 2002. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin. *Conservation Biology*, 16(6), 1498-1509.
- Munson, S.M, Belnap J., Okin, G.S. 2011. Responses of wind erosion to climate-induced vegetation changes on the Colorado Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*

- America*. 108: 3854-3859.
- Nadir A., y Chafatinos T. 1990. Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomo 1 y 2. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Naiman R.J., Dècamps H. and Pollock M. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3 (2): 209-212.
- Naiman R. J. and Dècamps H. 1997. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 621-658.
- Nichols G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Second Edition. Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Osborne L. L. and Kovacic D. A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology* 29: 243-258.
- Peña Monné, J.L., Sancho Marcén, C., Sampietro Vattuone, M.M., Rivelli, F., Rhodes, E., Osácar Soriano, M.C., Rubio Fernández, V. y García Giménez, R. 2016. *Geomorfología y cambios ambientales en la depresión de Cafayate (Prov. de Salta, Noroeste Argentino)*. En: Sampietro Vattuone, M.M. and Peña Monné, J.L. (eds.) *Geoarqueología de los Valles Calchaquíes*. Laboratorio de Geoarqueología, Universidad Nacional de Tucumán, pp. 213-242.
- Peña-Monné, J.L., and Sampietro-Vattuone, M.M. 2018. Fluvial and aeolian dynamics of the Santa María River in the Cafayate depression (Salta Province, NW Argentina). *Journal of Maps*, 14(2), 567-575.
- Passega, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 41, 1952-1984.
- Passega, R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology* 34, 830-847.
- Quintero D. I. 2016. Caracterización morfológica de la subcuenca del río Lorohuasi y estudio granulométrico de sedimentos (Cafayate, Provincia de Salta). Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.
- Quintero D. I. 2016. Caracterización morfológica de la subcuenca del río Lorohuasi y estudio granulométrico de sedimentos (Cafayate, Provincia de Salta). Tesis de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Rainer, G. and Malizia, M. 2014. Los countries en el country. Migración de amenidad, vino de altura y urbanizaciones cerradas en Cafayate (Salta, Argentina). *Journal of Latin American Geography* 13 (1): 39-66. DOI: 10.1353/lag.2014.0000.
- Rainer, G. 2016. Constructing globalized spaces of tourism and leisure: Political ecologies of the Salta Wine Route (NW-Argentina). *Journal of Rural Studies*, 43: 104-117. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2015.11.007.
- Richardson D.M., Holmes P. M., Esler K. J., Galatowitsch S. M., Stromberg J. C., Kirkman S. P., Pysek P. and Hobbs R. J. 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions* 13: 126-139.
- Rivelli, F. R. 1995. Situación geoambiental de Cafayate y sus alrededores (Salta, Argentina). *Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio: problemática geoambiental y desarrollo sustentable: actas*, 2, 331.
- Romans, B.W., Castellort, S., Covault, J. A., Fildani, A., & Walsh, J. P. 2016. Environmental signal propagation in sedimentary systems across timescales. *Earth-Science Reviews*, 153, 7-29.
- Roncallo L. y A.E Rovere. 2018. Minería urbana en San Carlos de Bariloche: identificación y caracterización de canteras. *Serie Correlación Geológica*, 34 (1): 24 - 34.
- Sala O.E., Chapin F.S, Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. and Wall D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell, W.M., Virginia, R.A. and Whitford, W.G. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 247(4946), 1043-1048.
- Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. John Wiley, New York. 388pp.
- Sharma, K.D., Dhir, R.P., and Murthy, J.S.R. 1993. Modelling soil erosion in arid zone drainage basins. *IAHS PUBLICATION*, 269-269.
- Sharma, K.D., Vangani, N.S., Menenti, M., Huygen, J., and Vich, A. 1994. Spatiotemporal variability of sediment transport in arid regions. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 224, 251-258.
- Singh, M., Singh, I., y Müller, G. 2007. Sediments characteristics and transportation dynamics of the Ganga River. *Geomorphology*, 86 (1-2), 144-175
- Syvitski, J.P. 2003. Supply and flux of sediment along hydrological pathways: research for the 21st century. *Global and Planetary Change*, 39(1-2), 1-11.
- Varela Ituarte, M.A., Perea, M.C., Neder, L.D.V., y Rios, R.D.V. 2018. Unidades del Paisaje del valle de Santa María, Cafayate (Salta, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 8 (1).
- Villagrán, A.J. 2013. El vino más alto y bajo el más bello cielo. Procesos de patrimonialización, turismo y estrategias empresariales. El caso de Cafayate (Valle Calchaquí), norte de Argentina. *Vivencia: Revista de Antropología*, 1(42): 41-64.
- Visher, G.S. 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Research*, 39(3), 1074-1106.
- Wichers, M., Iramina, W.S., de Eston, S.M., and da Silva, A.L.M.A. 2018. Using a noise monitoring station in a small quarry located in an urban area. *Environmental monitoring and assessment*, 190(1), 40. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6404-6>.

Apéndice:

Apéndice Tabla 1: Características de los sitios de muestreo en la cuenca del río Lorohuasi.

Appendix Table 1: Characteristics of the sampling sites in the Lorohuasi basin.

Río (Sitio de muestreo)	Coordenadas geográficas	Elevación (m s.n.m)	Fecha de muestreo (muestra)	Descripción del área	Pendiente %	Ancho cauce (m)
Alisal (Al1)	26° 6' 48.44" S 66° 3' 8.99" O	2.712	27/06/2020 (Al1-20a) (Al1-20b)	Vertiente en quebrada	20,0	2,5
Alisal (Al2)	26°6'50.6" S 66°2'6.6" O	2.130	27/06/2020 (Al2-20)	Unión Alisal- Las Bolsas	16,6	3,0
Alisal (Al3)	26°6'37.3" S 66°1'29.7" O	1.924	27/06/2020 (Al3-20)	Debajo de la Toma de agua	12,5	7,0
Alisal (Al4)	26°5'42.9" S 66°0'57.6" O	1.830	10/06/2016 (Al4-16) 19/02/2019 (Al4-19) 26/06/2020 (Al4-20)	300 m aguas arriba de la unión del río Alisal con el río Colorado.	10,5	12,0
Colorado (Co1)	26°05'32,35" S 66°01'1,98" O	1.850	11/04/2016 (Co1-16) 25/05/2019 (Co1-19)	600 m aguas arriba de la unión con el río Alisal.	10	7
Colorado (Co2)	26° 5' 26.67" S 66° 1' 5,13" O	1.806	25/03/2016 (Co2-16) 04/05/2018 (Co2-18)	300 metros aguas arriba de unión con río Alisal	10	9
Lorohuasi (Lo1)	26° 05' 39,2" S 66° 00' 48,6" O	1.810	11/04/2016 (Lo1-16) 18/02/2019 (Lo1-19) 15/06/2020 (Lo1-20)	Unión ríos Alisal-Colorado	10	21
Lorohuasi (Lo2)	26°05'37.10" S 66°0'38.50" O	1.795	24/05/2019 (Lo2-19)	400 metros aguas abajo de la unión de los afluentes	7	19
Lorohuasi (Lo3)	26° 4' 50,33" S 65° 58' 56,58" O	1.628	27/01/2020 (Lo3-20)	600 m aguas arriba del puente	2,5	30
Lorohuasi (Lo4)	26° 4' 52,46" S 65° 58'45,2" O	1.625	11/04/2016 (Lo4-16) 24/01/2020 (Lo4-20)	300 m aguas arriba puente	2	28
Lorohuasi (Lo5)	26° 4' 55,67" S 65° 58'35,09" O	1.620	05/01/2016 (Lo5-16-D; Lo5-16-I) 23/03/2016 (Lo5-16) 12/03/2019 (Lo5-19) 16/01/2020 (Lo5-20a) 24/01/2020 (Lo5-20b) 27/01/2020 (Lo5-20c)	Puente carretero sobre río Lorohuasi (D: margen derecha del cauce. I: margen izquierda del cauce).	1	25 a 35
Lorohuasi (Lo6)	26° 4' 58,31" S 65° 58' 11,70" O	1.614	24/01/2020 (Lo6-20a) 29/01/2020 (Lo6-20b)	600 m aguas abajo del puente	1,5	20
Lorohuasi (Lo7)	26° 4' 56,74" S 65° 57'59,64" O	1.610	29/01/2020 (Lo7-20)	1 km aguas abajo del puente	1	18
Lorohuasi (Lo8)	26° 4' 50,9" S 65° 54' 35,3" O	1.569	13/05/2017 (Lo8-17C; Lo8- 17L)	Unión ríos Lorohuasi-Santa María	<1	34,2

Donde: a, b y c indican diferentes fechas de muestreo para un mismo sitio, D: margen derecha del cauce, I: margen izquierda del cauce, C: cauce del río Santa María, L: cauce del río Lorohuasi.

Where: a, b and c indicate different sampling dates for the same site, D: right bank of the riverbed, I: left bank of the riverbed, C: Santa María riverbed, L: Lorohuasi riverbed.

Apéndice Tabla 2. Cálculo de porcentaje retenido de cada fracción granulométrica y porcentaje acumulado para todas las muestras realizadas en la cuenca del río Lorohuasi.

Appendix Table 2. Calculation of percentage retained of each granulometric fraction and accumulated percentage for all samples taken in the Lorohuasi river basin.

Sitio	Coordenadas	Muestra	Phi	Peso gramos	% retenido	% acumulado
Co1	26°05'32,35" S	Co1-16	-2	2,9	1,33	1,33
Co1	66°01'1,98" O	Co1-16	-1	7,75	3,55	4,88
Co1		Co1-16	0	16,31	7,47	12,35
Co1		Co1-16	1	65,4	29,96	42,31
Co1		Co1-16	2	89,91	41,19	83,50
Co1		Co1-16	3	29,9	13,70	97,19
Co1		Co1-16	4	3,28	1,50	98,69
Co1		Co1-16	5	2,85	1,31	100,00
Co1		Co1-16	TOTAL	218,3	100,00	
Co1	26°05'32,35" S	Co1-19	-2	2,23	2,32	2,32
Co1	66°01'1,98" O	Co1-19	-1	21,53	22,38	24,70
Co1		Co1-19	0	18,46	19,19	43,89
Co1		Co1-19	1	17,19	17,87	61,76
Co1		Co1-19	2	16,94	17,61	79,37
Co1		Co1-19	3	11,09	11,53	90,89
Co1		Co1-19	4	6,71	6,98	97,87
Co1		Co1-19	5	2,05	2,13	100,00
Co1		Co1-19	TOTAL	96,2	100,00	
Co2	26° 5'26.67"S	Co2-16	-2	0,77	0,38	0,38
Co2	66° 1'5.13"O	Co2-16	-1	8,43	4,12	4,49
Co2		Co2-16	0	27,77	13,56	18,05
Co2		Co2-16	1	75,6	36,92	54,97
Co2		Co2-16	2	74,02	36,14	91,11
Co2		Co2-16	3	15,02	7,33	98,45
Co2		Co2-16	4	1,94	0,95	99,39
Co2		Co2-16	5	1,24	0,61	100,00
Co2		Co2-16	TOTAL	204,79	100,00	
Co2	26° 5'26.67"S	Co2-18	-2	49,7	34,40	34,40
Co2	66° 1'5.13"O	Co2-18	-1	44,4	30,73	65,13
Co2		Co2-18	0	20,3	14,05	79,18
Co2		Co2-18	1	14,02	9,70	88,88
Co2		Co2-18	2	10,52	7,28	96,16
Co2		Co2-18	3	4,01	2,78	98,93
Co2		Co2-18	4	1,15	0,80	99,73
Co2		Co2-18	5	0,39	0,27	100,00
Co2		Co2-18	TOTAL	144,49	100,00	
A11	26° 6'48.44"S	A11-20a	-2	0	0,00	0,00
A11	66° 3'8.99"O	A11-20a	-1	1,28	1,26	1,26
A11		A11-20a	0	3,49	3,42	4,68
A11		A11-20a	1	9,09	8,91	13,59
A11		A11-20a	2	23,82	23,36	36,95
A11		A11-20a	3	33,16	32,52	69,47
A11		A11-20a	4	22,78	22,34	91,81
A11		A11-20a	5	8,35	8,19	100,00
A11		A11-20a	TOTAL	101,97	100,00	
A11	26° 6'48.44"S	A11-20b	-2	9,4	9,34	9,34
A11	66° 3'8.99"O	A11-20b	-1	21,44	21,31	30,65
A11		A11-20b	0	23,73	23,58	54,23
A11		A11-20b	1	20,52	20,39	74,62
A11		A11-20b	2	14,03	13,94	88,56
A11		A11-20b	3	7,56	7,51	96,07
A11		A11-20b	4	2,93	2,91	98,99
A11		A11-20b	5	1,02	1,01	100,00
A11		A11-20b	TOTAL	100,63	100,00	

AI2	26°6'50.6"S	AI2-20	-2	0	0,00	0,00
AI2	66°2'6.6"O	AI2-20	-1	1,36	1,34	1,34
AI2		AI2-20	0	18,38	18,15	19,50
AI2		AI2-20	1	34,76	34,33	53,83
AI2		AI2-20	2	18,33	18,10	71,93
AI2		AI2-20	3	12,77	12,61	84,54
AI2		AI2-20	4	10,15	10,02	94,57
AI2		AI2-20	5	5,5	5,43	100,00
AI2		AI2-20	TOTAL	101,25	100,00	
AI3	26°6'37.3"S	AI3-20	-2	0	0,00	0,00
AI3	66°1'29.7"O	AI3-20	-1	12,68	12,90	12,90
AI3		AI3-20	0	16,6	16,88	29,78
AI3		AI3-20	1	22,84	23,23	53,01
AI3		AI3-20	2	18,24	18,55	71,56
AI3		AI3-20	3	15,12	15,38	86,94
AI3		AI3-20	4	8,71	8,86	95,80
AI3		AI3-20	5	4,13	4,20	100,00
AI3		AI3-20	TOTAL	98,32	100,00	
AI4	26°5'42.9"S	AI4-16	-2	1,53	1,08	1,08
AI4	66°0'57.6"O	AI4-16	-1	8,65	6,11	7,19
AI4		AI4-16	0	24,82	17,54	24,73
AI4		AI4-16	1	46,66	32,98	57,71
AI4		AI4-16	2	35,33	24,97	82,68
AI4		AI4-16	3	16,14	11,41	94,08
AI4		AI4-16	4	2,9	2,05	96,13
AI4		AI4-16	5	5,47	3,87	100,00
AI4		AI4-16	TOTAL	141,5	100,00	
AI4	26°5'42.9"S	AI4-19	-2	1,04	1,03	1,03
AI4	66°0'57.6"O	AI4-19	-1	6,61	6,57	7,60
AI4		AI4-19	0	11,88	11,81	19,41
AI4		AI4-19	1	24,42	24,27	43,69
AI4		AI4-19	2	32,61	32,42	76,10
AI4		AI4-19	3	19,3	19,18	95,29
AI4		AI4-19	4	4,32	4,29	99,58
AI4		AI4-19	5	0,42	0,42	100,00
AI4		AI4-19	TOTAL	100,6	100,00	
AI4	26°5'42.9"S	AI4-20	-2	0,87	0,91	0,91
AI4	66°0'57.6"O	AI4-20	-1	4,46	4,67	5,58
AI4		AI4-20	0	12,44	13,02	18,59
AI4		AI4-20	1	25,63	26,82	45,41
AI4		AI4-20	2	29,78	31,16	76,57
AI4		AI4-20	3	17,32	18,12	94,69
AI4		AI4-20	4	3,83	4,01	98,70
AI4		AI4-20	5	1,24	1,30	100,00
AI4		AI4-20	TOTAL	95,57	100,00	
Lo1	26° 05' 39,2" S	Lo1-16	-2	16,63	10,56	10,56
Lo1	66° 00' 48,6" O	Lo1-16	-1	19,57	12,43	23,00
Lo1		Lo1-16	0	23,13	14,69	37,69
Lo1		Lo1-16	1	36,34	23,08	60,77
Lo1		Lo1-16	2	36,23	23,01	83,79
Lo1		Lo1-16	3	18,08	11,49	95,27
Lo1		Lo1-16	4	3,65	2,32	97,59
Lo1		Lo1-16	5	3,79	2,41	100,00
Lo1		Lo1-16	TOTAL	157,42	100,00	
Lo1	26° 05' 39,2" S	Lo1-19	-2	0	0,00	0,00
Lo1	66° 00' 48,6" O	Lo1-19	-1	1,92	1,92	1,92
Lo1		Lo1-19	0	6,66	6,66	8,59
Lo1		Lo1-19	1	22,86	22,88	31,46
Lo1		Lo1-19	2	43,78	43,81	75,27
Lo1		Lo1-19	3	21,67	21,69	96,96
Lo1		Lo1-19	4	2,91	2,91	99,87
Lo1		Lo1-19	5	0,13	0,13	100,00
Lo1		Lo1-19	TOTAL	99,93	100,00	

Lo1	26° 05' 39,2" S	Lo1-20	-2	0	0,00	0,00
Lo1	66° 00' 48,6" O	Lo1-20	-1	0,07	0,07	0,07
Lo1		Lo1-20	0	0,39	0,39	0,47
Lo1		Lo1-20	1	6,66	6,74	7,21
Lo1		Lo1-20	2	33,39	33,79	41,00
Lo1		Lo1-20	3	33,56	33,96	74,96
Lo1		Lo1-20	4	16,87	17,07	92,04
Lo1		Lo1-20	5	7,87	7,96	100,00
Lo1		Lo1-20	TOTAL	98,81	100,00	
Lo2	26°05'37.10" S	Lo2-19	-2	0	0,00	0,00
Lo2	66°0'38.50" O	Lo2-19	-1	12,72	12,61	12,61
Lo2		Lo2-19	0	16,67	16,52	29,13
Lo2		Lo2-19	1	22,89	22,69	51,82
Lo2		Lo2-19	2	20,42	20,24	72,07
Lo2		Lo2-19	3	15,18	15,05	87,11
Lo2		Lo2-19	4	8,79	8,71	95,83
Lo2		Lo2-19	5	4,21	4,17	100,00
Lo2		Lo2-19	TOTAL	100,88	100,00	
Lo3	26°4'50,33"S	Lo3-20	-2	6,78	6,34	6,34
Lo3	65°58'56,58"O	Lo3-20	-1	9,29	8,69	15,04
Lo3		Lo3-20	0	12,1	11,32	26,36
Lo3		Lo3-20	1	22,68	21,22	47,59
Lo3		Lo3-20	2	26,61	24,90	72,49
Lo3		Lo3-20	3	19,55	18,29	90,78
Lo3		Lo3-20	4	8,15	7,63	98,41
Lo3		Lo3-20	5	1,7	1,59	100,00
Lo3		Lo3-20	TOTAL	106,86	100,00	
Lo4	26°4'52,46"S	Lo4-16	-2	30,95	22,58	22,58
Lo4	65°58'45,2"O	Lo4-16	-1	25,45	18,57	41,15
Lo4		Lo4-16	0	22,12	16,14	57,29
Lo4		Lo4-16	1	25,83	18,85	76,13
Lo4		Lo4-16	2	21,97	16,03	92,16
Lo4		Lo4-16	3	7,57	5,52	97,69
Lo4		Lo4-16	4	0,88	0,64	98,33
Lo4		Lo4-16	5	2,29	1,67	100,00
Lo4		Lo4-16	TOTAL	137,06	100,00	
Lo4	26°4'52,46"S	Lo4-20	-2	0	0,00	0,00
Lo4	65°58'45,2"O	Lo4-20	-1	3,98	3,95	3,95
Lo4		Lo4-20	0	13,1	13,01	16,96
Lo4		Lo4-20	1	25,95	25,77	42,73
Lo4		Lo4-20	2	25,76	25,58	68,31
Lo4		Lo4-20	3	18,98	18,85	87,16
Lo4		Lo4-20	4	9,43	9,36	96,52
Lo4		Lo4-20	5	3,5	3,48	100,00
Lo4		Lo4-20	TOTAL	100,7	100,00	
Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-16-I	-2	0	0,00	0,00
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-16-I	-1	0,36	0,18	0,18
Lo5		Lo5-16-I	0	1,42	0,73	0,91
Lo5		Lo5-16-I	1	8,12	4,16	5,07
Lo5		Lo5-16-I	2	62,77	32,16	37,23
Lo5		Lo5-16-I	3	81,7	41,85	79,08
Lo5		Lo5-16-I	4	28,35	14,52	93,61
Lo5		Lo5-16-I	5	12,48	6,39	100,00
Lo5		Lo5-16-I	TOTAL	195,2	100,00	
Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-16-D	-2	24,01	12,34	12,34
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-16-D	-1	15,55	7,99	20,33
Lo5		Lo5-16-D	0	29,64	15,23	35,55
Lo5		Lo5-16-D	1	54,44	27,97	63,53
Lo5		Lo5-16-D	2	45,24	23,24	86,77
Lo5		Lo5-16-D	3	17,69	9,09	95,86
Lo5		Lo5-16-D	4	5,72	2,94	98,80
Lo5		Lo5-16-D	5	2,34	1,20	100,00
Lo5		Lo5-16-D	TOTAL	194,63	100,00	

Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-16	-2	18,73	9,04	9,04
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-16	-1	38,03	18,36	27,41
Lo5		Lo5-16	0	44,86	21,66	49,07
Lo5		Lo5-16	1	50,09	24,19	73,26
Lo5		Lo5-16	2	35,87	17,32	90,58
Lo5		Lo5-16	3	14,21	6,86	97,44
Lo5		Lo5-16	4	0,05	0,02	97,46
Lo5		Lo5-16	5	5,25	2,54	100,00
Lo5		Lo5-16	TOTAL	207,09	100,00	
Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-19	Phi	Peso gramos	% retenido	% acumulado
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-19	-2	2,14	2,14	2,14
Lo5		Lo5-19	-1	5,85	5,86	8,00
Lo5		Lo5-19	0	12,8	12,82	20,83
Lo5		Lo5-19	1	30,85	30,90	51,73
Lo5		Lo5-19	2	36,28	36,34	88,07
Lo5		Lo5-19	3	11,1	11,12	99,19
Lo5		Lo5-19	4	0,67	0,67	99,86
Lo5		Lo5-19	5	0,14	0,14	100,00
Lo5		Lo5-19	TOTAL	99,83	100,00	
Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-20a	-2	1,88	1,66	1,66
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-20a	-1	7,01	6,20	7,86
Lo5		Lo5-20a	0	11,2	9,90	17,76
Lo5		Lo5-20a	1	26,15	23,11	40,87
Lo5		Lo5-20a	2	28,32	25,03	65,90
Lo5		Lo5-20a	3	23,06	20,38	86,28
Lo5		Lo5-20a	4	12,74	11,26	97,54
Lo5		Lo5-20a	5	2,78	2,46	100,00
Lo5		Lo5-20a	TOTAL	113,14	100,00	
Lo5	26°4'55,67"S	Lo5-20b	-2	4,85	4,56	4,56
Lo5	65°58'35,09"O	Lo5-20b	-1	12,32	11,58	16,14
Lo5		Lo5-20b	0	15,71	14,77	30,91
Lo5		Lo5-20b	1	23,85	22,42	53,33
Lo5		Lo5-20b	2	25,46	23,93	77,26
Lo5		Lo5-20b	3	17,75	16,69	93,95
Lo5		Lo5-20b	4	5,62	5,28	99,23
Lo5		Lo5-20b	5	0,82	0,77	100,00
Lo5		Lo5-20b	TOTAL	106,38	100,00	
Lo5		Lo5-20c	-2	2,49	2,44	2,44
Lo5		Lo5-20c	-1	1,15	1,13	3,57
Lo5		Lo5-20c	0	2,06	2,02	5,59
Lo5		Lo5-20c	1	7,78	7,63	13,22
Lo5		Lo5-20c	2	24,76	24,28	37,50
Lo5		Lo5-20c	3	40,89	40,10	77,60
Lo5		Lo5-20c	4	19,18	18,81	96,41
Lo5		Lo5-20c	5	3,66	3,59	100,00
Lo5		Lo5-20c	TOTAL	101,97	100,00	
Lo6	26°4'58,31"S	Lo6-20a	-2	0	0,00	0,00
Lo6	65°58'11,70"O	Lo6-20a	-1	1,63	1,62	1,62
Lo6		Lo6-20a	0	5,62	5,60	7,22
Lo6		Lo6-20a	1	12,75	12,70	19,92
Lo6		Lo6-20a	2	30,15	30,03	49,95
Lo6		Lo6-20a	3	28,37	28,25	78,20
Lo6		Lo6-20a	4	15,71	15,65	93,85
Lo6		Lo6-20a	5	6,18	6,15	100,00
Lo6		Lo6-20a	TOTAL	100,41	100,00	
Lo6	26°4'58,31"S	Lo6-20b	-2	0	0,00	0,00
Lo6	65°58'11,70"O	Lo6-20b	-1	0,23	0,23	0,23
Lo6		Lo6-20b	0	1,23	1,22	1,45
Lo6		Lo6-20b	1	5,82	5,78	7,24
Lo6		Lo6-20b	2	23,44	23,30	30,53
Lo6		Lo6-20b	3	39,67	39,43	69,96
Lo6		Lo6-20b	4	23,52	23,38	93,34
Lo6		Lo6-20b	5	6,7	6,66	100,00
Lo6		Lo6-20b	TOTAL	100,61	100,00	

Lo7	26°4'56,74"S	Lo7-20	-2	0,67	0,66	0,66
Lo7	65°57'59,64"O	Lo7-20	-1	3,91	3,85	4,51
Lo7		Lo7-20	0	7,05	6,95	11,46
Lo7		Lo7-20	1	18,6	18,33	29,79
Lo7		Lo7-20	2	34,13	33,63	63,42
Lo7		Lo7-20	3	26,79	26,40	89,82
Lo7		Lo7-20	4	8,74	8,61	98,43
Lo7		Lo7-20	5	1,59	1,57	100,00
Lo7		Lo7-20	TOTAL	101,48	100,00	
Lo8	26°4'50,9"S	Lo8-17C	-2	0	0,00	0,00
Lo8	65°54'35,3"O	Lo8-17C	-1	0,81	0,52	0,52
Lo8		Lo8-17C	0	0,38	0,24	0,76
Lo8		Lo8-17C	1	0,88	0,57	1,33
Lo8		Lo8-17C	2	7,17	4,61	5,94
Lo8		Lo8-17C	3	67,73	43,54	49,48
Lo8		Lo8-17C	4	59,55	38,28	87,76
Lo8		Lo8-17C	5	19,04	12,24	100,00
Lo8		Lo8-17C	TOTAL	155,56	100,00	
Lo8	26°4'50,9"S	Lo8-17L	-2	0	0,00	0,00
Lo8	65°54'35,3"O	Lo8-17L	-1	9,75	5,02	5,02
Lo8		Lo8-17L	0	22,06	11,35	16,37
Lo8		Lo8-17L	1	40,54	20,86	37,22
Lo8		Lo8-17L	2	60,1	30,92	68,14
Lo8		Lo8-17L	3	42,9	22,07	90,21
Lo8		Lo8-17L	4	15,02	7,73	97,94
Lo8		Lo8-17L	5	4	2,06	100,00
Lo8		Lo8-17L	TOTAL	194,37	100,00	

Donde: a, b y c indican diferentes fechas de muestreo para un mismo sitio, D: margen derecha del cauce, I: margen izquierda del cauce, C: cauce del río Santa María, L: cauce del río Lorohuasi.

Where: a, b and c indicate different sampling dates for the same site, D: right bank of the riverbed, I: left bank of the riverbed, C: Santa María riverbed, L: Lorobuasi riverbed.

Recibido: 27 de Noviembre de 2020

Aceptado: 23 de Julio de 2021