**RESUMEN**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
| **Autor** | [**Morera Julca, S.B.**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/aMorera+Julca%2C+S.B./amorera+julca+s+b/-3,-1,0,B/browse)  |
| **Autor corporativo** | [**Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Escuela de Post Grado, Doctorado en Recursos Hídricos**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/aUniversidad+Nacional+Agraria+La+Molina%2C+Lima+%28Peru%29.++Escuela+de+Post+Grado%2C+Doctorado+en+Recursos+H%7bu00ED%7ddricos/auniversidad+nacional+agraria+la+molina+lima+peru+escuela+de+post+grado+doctorado+en+recursos+hidricos/-3,-1,0,B/browse)  |

 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
| **Título** | **Magnitud, frecuencia y factores que controlan los flujos sedimentarios desde los Andes centrales occidentales hacia el océano Pacífico peruano** |

 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
| **Impreso** | Lima : UNALM, 2014 |

 |

**Copias**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ubicación**  | **Código**  | **Estado**  |
|  Sala Tesis  |  [**P36. M6 - T**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/cP36.+M6+-+T/cp++++36+m6+t/-3,-1,,E/browse)   |  USO EN SALA  |
|  Sala Tesis  |  [**P36. M6 - T**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/cP36.+M6+-+T/cp++++36+m6+t/-3,-1,,E/browse) c.2 |  USO EN SALA  |
|

|  |  |
| --- | --- |
| **Descripción** | 175 p. : 47 fig., 13 tablas, 281 ref. Incluye CD ROM |
| **Tesis** | Tesis (Dr Ph en Recursos Hídricos) |
| **Bibliografía** | Doctorado : Recursos Hídricos |
| **Sumario** | Sumarios (En, Es, Fr) |
| **Materia** | [**DINAMICA DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dDINAMICA+DEL+SEDIMENTO+EN+SUSPENSION/ddinamica+del+sedimento+en+suspension/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**OCEANO PACIFICO**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dOCEANO+PACIFICO/doceano+pacifico/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**REGION ANDINA**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dREGION+ANDINA/dregion+andina/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**SEDIMENTACION**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dSEDIMENTACION/dsedimentacion/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**EROSION DE LAS COSTAS**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dEROSION+DE+LAS+COSTAS/derosion+de+las+costas/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**CICLO HIDROLOGICO**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dCICLO+HIDROLOGICO/dciclo+hidrologico/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**FLUJO DEL SUELO**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dFLUJO+DEL+SUELO/dflujo+del+suelo/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**MUESTREO**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dMUESTREO/dmuestreo/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**PERU**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dPERU/dperu/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**ANDES CENTRALES OCCIDENTALES**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dANDES+CENTRALES+OCCIDENTALES/dandes+centrales+occidentales/-3,-1,0,B/browse)  |
|  | [**CONTROL DE FLUJOS SEDIMENTARIOS**](http://ban.lamolina.edu.pe/search~S1%2Aspi?/dCONTROL+DE+FLUJOS+SEDIMENTARIOS/dcontrol+de+flujos+sedimentarios/-3,-1,0,B/browse)  |
| **Nº estándar** | PE2015000217 B / M EUVZ P36 |

 |

En el Perú el desarrollo de la hidro-sedimentología en comparación con otras ramas de la hidrología ha sido limitada. El principal reto en el transporte de sedimentos está vinculado a los registros y a la disponibilidad de estos: i) Debido a la falta de registros y dispersión. ii) Es concerniente a la consistencia de la información. Como resultado, en la actualidad es poco conocido la relación entre la ubicación de las cuencas de montaña, precipitación, escorrentía, geomorfología, uso del suelo, influencia de la actividad antrópica, la influencia de El Niño y la dinámica del transporte de sedimentos. Este estudio contribuye con la disponibilidad de una nueva base de sedimentos para el periodo de 1948 a 2012. Este grupo de datos contiene registros continuos de los niveles del río, aforos periódicos, registros de turbidez y un muestreo horario del material en suspensión (MES). Al final, toda la base de datos fue criticada y tratada bajo una metodología consistente.

Se evaluó la incertidumbre durante la estimación anual y mensual de los flujos de sedimentos en cuatro cuencas de montañas (1757–10411 km2). La base de datos fue descompuesta en una base de datos numérica con el fin de simular nuevas series de muestreo a diferentes frecuencias. La estrategia de muestreo para estas cuencas alto andinas puede variar entre 6 a 12 días (muestreo moderado), la cual produciría una subestimación del ~20% durante una estimación anual. Sin embargo, la estimación de los flujos sólidos mensuales, y durante la época de lluvias (diciembre-mayo) se requiere un intervalo de muestreo que va de uno a cinco días (muestreo intenso) este incluiría a un error de ± 40%. No obstante, para el periodo de estiaje (junio-setiembre) puede ser realizado una vez al mes, este incluirá un error del ± 45% y representa menos del 2% de la estimación de la SY a una escala anual. Finalmente, los resultados muestran que las frecuencias de muestreo antes mencionados deben reducirse a la mitad de tiempo (muestreo de intenso a automático) cuando se monitorea eventos extremos (durante lluvias) en el cual el error anual asciende a 300%.

La calidad del agua en la cuenca del río Santa, ubicada al norte del Perú, tiene como principal problema la elevada carga del MES. Con el fin de caracterizar los flujos sólidos en cuencas de montaña, se evaluó la eficiencia del sensor óptico de turbidez como alternativa de monitoreo instantáneo del MES. El MES y los caudales son monitoreados en tres estaciones por el proyecto especial Chavimochic desde 1999. La toma de muestras del MES tiene una frecuencia de 12 a 48 horas. Antes de filtrar cada muestra, se toman lecturas de la turbidez en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Se calibró la relación MES = f(NTU) para las estaciones en estudio, y se calculó las relaciones entre MES y NTU, que presentan uno o dos quiebres, cuyos coeficientes de correlación (r2) varían entre 0.03 a 0.87. A partir del MES estimado se calcularon los flujos sólidos; la comparación de estos con los observados a nivel diario muestran un error relativo absoluto de 15% y el test de eficiencia de Nash-Sutcliffe da valores de 0.95 a 0.97. Otros cálculos a escala de tiempo mensual o anual brindan resultados mucho más óptimos. En este sentido, se afirma que la eficiencia del muestreo del MES a partir de lecturas de NTU se atribuye a la alta turbulencia de estos ríos de montaña. Sin embargo, consideramos que establecer una ecuación en función a la granulometría de las muestras ayudará a estimar con mayor precisión el MES. Finalmente, el uso de sensores ópticos de turbidez automatizadas (sondas) presentan un alto potencial para el monitoreo del MES instantáneo, para cuencas de montañas andinas.

Se caracterizó y cuantificó la magnitud y la frecuencia de los flujos de sedimentos en 20 cuencas (638-16949 km2) en la vertiente del Pacífico. El análisis estadístico de las series diarias y subdiarias muestran una fuerte gradiente latitudinal y longitudinal. Los rangos de escorrentía van de 2.4 a 25.5 l.km2.s-1; mientras que los rangos del caudal sólido específico son más amplios de 9 a 2000 t.km2.año-1. Los resultados muestran una alta variación temporal de los flujos de sedimentos en el cual el MES responde inmediatamente a la escorrentía durante las descargas pico. Un análisis anual entre la escorrentía y los caudales específicos sólidos (SSY) muestran un rango de correlación 0 < r < 0.9 (p < 0.05) a lo largo de la vertiente del Pacífico. La variación temporal y espacial de los flujos sólidos en el Perú se incrementan dramáticamente durante eventos extremos (ej.; el mega El Niño 1982-83 y 1997-98). Además, los caudales específicos sólidos se incrementan de 10 a 30 veces el promedio histórico anual. Finalmente, los factores que controlan la producción de sedimentos (SY) no son completamente entendidos para cuencas de la vertiente del Pacífico. Futuros estudios se ocuparan de dicho tópico.

Se identificó el principal factor que controla la SY y su importancia. El área de estudio comprende las cuencas de los ríos Tablachaca (3,132 km²) y Santa (6,815 km²), dos cuencas andinas, geográficamente vecinas. Ambas estadísticamente similares respecto a las precipitaciones y caudales diarios. No obstante, muestran un gran contraste en la SY. Con el fin de investigar cuales factores controlan la SY, se trabajó con los caudales instantáneos, datos horarios del material en suspensión (MES), topografía (SRTM 90 x90m), uso del suelo (Landsat 7), precipitaciones (SRTM, 3B43-7V) y litología para toda la cuenca del río Santa. Los resultados muestran que el SSY en la cuenca del río Tablachaca es una de las más elevadas a escala continental, para cuencas que escurren al lado Pacífico. Por otro lado, a partir de una serie histórica de 54 años de monitoreo, no se observó una relación entre los caudales y El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Sin embargo, se observó que la cuenca del río Santa fue altamente sensible durante los mega El Niño (e.j.; 1982-1983, 1997-98). Finalmente, la micro-minería dispersa por toda la cuenca, así como la minería a grande escala ambas ligadas a una litología específica fueron identificadas como los factores que controlan las elevadas carga de SSY. Estas observaciones hacen de la vertiente del Pacífico (Perú) zonas claves para el estudio del SSY, visto que estas se asemejan a laboratorios naturales sometidos bajo condiciones extremas.

**Abstract**

Hydro-sedimentology development in comparison to other hydrology issues has been limited in Peru. The main challenge is related to the record and its availability. First, because the record gaps and its dispersion. Second, it is concerned with the reliability of the information. As a result, little is known about the relationship between mountain catchment location, precipitation, runoff, geomorphology, land use, anthropogenic influence, the El Niño influence and the sediment transport dynamics at the present. A new national hydro-sedimentology dataset (1948-2012) is available from continuous levels flow records (limnigraph), periodic gauging discharge, turbidity records and hourly suspended sediment concentrations (SSC) samples. In the end, the whole dataset was criticized and treated under a consistent methodology.

Uncertainty during monthly and annual sediment flows estimation were characterized at four catchment mountains (1757-10411 km2). The database was broken down into a numerical base to simulate several sampling frequencies. Observed and simulated data were compared; results show high temporal variability in these Andean watersheds. Sediment yield (SY) sampling frequency varies from 6 to 12 days, underestimating ~ 20% annually. However, suspended sediment yield (SY) estimation at monthly scale during the rainy season (Dec. to May) require sampling from 1 to 5 days involving ± 40% of error. During dry season (Jun. to Sep.), the sampling could be done one time per month to involve ± 45%, but, this lead less than 2 % in an annual balance. Finally, results show that the sampling frequency values mentioned above should be reduced to half, for exceptional events (rainy season) where the annual error estimate is around 300%.

The Santa River watershed is situated in the north of Peru. The strong SSC is the main problem in the water quality in the Santa river watershed. In order to characterise the solid flows at high frequency in mountains watershed, the efficiency of the optical turbidity sensor was evaluated. Since 1999 the Chavimochic project evaluated the SSC and water discharge at three stations. The sampling frequency is about 12 to 48 hours. Before filtering the SSC of each sample, readings of nephelometric turbidity units (NTU) are taken. The SSC=f(NTU) was calibrated according to the study stations, the relationships between SSC and NTU have two to three trends; whose correlation coefficients (r2) range from 0.03 to 0.87. Sediment flux was computed from the SSC estimated, comparisons against the daily observed and estimated sediment flux show an absolute relative error of 15 % and the test of Nash- Sutcliffe efficiency gives values of 0.95 to 0.97. Estimations at monthly or annual scale provide better results, accuracy is attributed to the strong turbulence characteristic of these mountains rives. However, establishing an equation depending on the grain size in the samples will improve estimation of the SSC. Finally, the use of automated optical turbidity sensors (sondes) shows high potential to monitoring instantaneous SSC at Andean mountain basins.

Magnitude and frequency of the sediment flows was quantified and characterized in twenty catchments (638-16949 km2) along the Pacific watershed (Peru). Statistical analysis of daily and sub-daily time series show a strong latitudinal and longitudinal runoff gradient ranges from 2.4 to 25.5 l.km2.s-1 and large specific SSY ranges from 9 to 2 000 t.km2.year1. Results also show that there is a high sediment flux temporal variation, where Suspended Sediment Concentration (SSC) response immediately to runoff during water discharge peaks. Annual analysis between runoff and SSY shows a correlation ranging from 0 < r < 0.9 (p < 0.05) along the Pacific. Space and temporal SSF variability in Peru are dramatically increased during extreme events (mega El Niño 1982-83 and 1997-98). Sediment flows increase from10 to 30 times the historical annual average. Finally, factors which control SSY are not fully, so further study on this topic will be undertaken in the future.

Quantify and understand the SSY in a sensitive mountain catchment is a challenge; nevertheless, identify the main factors which control erosion and their relevance is even more. The Tablachaca (3132 km²) and the Santa (6815 km²) are two mountains rivers basin geographically adjacent. Those showed similar statistical daily rainfall and discharge variability, however, large differences in specific suspended-sediment yield (SSY). Instantaneous water discharge, hourly MES, topography (SRTM 90 x90m ), land use (Landsat 7), precipitation (SRTM , 3B43 -7V) and lithology were recognized for the entire Santa River basin in order to investigate which factors control the SY. Results show that the SSY of the Tablachaca river basin is one of the highest at continental-scale. On the other hand, relationship between SY and the El Niño Southern Oscillation (ENSO) was no observed; nonetheless, during the mega El Niño (e.g.; 1982-1983, 1997-98) the Santa River basin was highly sensitive. Finally, mining activity in specific lithologies was identified as the major factor that controls the high SSY of the Tablachaca (2204 t km2 yr−1), which is four times greater than the Santa’s SSY. These results show that the analysis of control factors of regional SSY at the Andes scale should be done carefully. Indeed, spatial data at kilometric scale and also daily water discharge and SSC time series are needed to define the main erosion factors along the entire Andean range.