



GEOINGENIERÍA
Revista Ciencias de la Tierra

Autor de correspondencia

Roberto Richardson
roberto.richardson@gmail.com
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología
Sede Viña del Mar
Universidad Santo Tomás

Artículo de investigación / Research Article

<https://doi.org/>



Cartografía hidrogeomorfológica. Herramienta para intervención de cuencas ante amenazas hídricas.

Hydrogeomorphological mapping. Tool for
intervention of watersheds in the face of water
threats.

Resumen

El alto riesgo aluvional existente en las cuencas hidrográficas del norte del país debido a la presencia de grandes montañas y volcanes sujetas a las inclemencias del tiempo, sumado a la creciente presión urbana por utilizar sectores de las cuencas bajas cada vez más expuestos a este tipo de eventos, justifican estudios sobre el comportamiento de flujos detríticos y la posibilidad de mitigar sus efectos mediante la construcción de obras de protección y control. Con este propósito se ha elaborado la carta hidrogeomorfológica para la cuenca del Lluta. La crecida del año 2001, que se manifestó en la cuenca inferior donde la infraestructura vial sufrió grandes daños por efectos de socavación y deslizamientos, derivando esto en la posterior reconstrucción de los ocho (8) puentes viales y de ferrocarril, implicando, una fuerte inversión en obras de protección fluvial de las riberas aguas arriba de los puentes, es decir, se efectuaron obras de defensas fluviales en zonas específicas.

Palabras Claves: Carta hidrogeomorfológica; Flujo detrítico; Balance de agua; Cuenca hidrográfica; Inundaciones; Escurrimiento.

Abstract

The high alluvial risk existing in the hydrographic basins of the north of the country due to the presence of large mountains and volcanoes subject to inclement weather, added to the growing urban pressure to use sectors of the lower basins that are increasingly exposed to this type of events, justify studies on the behavior of debris flows and the possibility of mitigating their effects through the construction of protection and control works. For this purpose, the hydrogeomorphological chart for the Lluta basin has been drawn up. The flood of 2001, which manifested itself in the lower basin where the road infrastructure suffered great damage due to scour and landslides, resulting in the subsequent reconstruction of the eight (8) road and rail bridges, implying a strong investment in river protection works of the banks upstream of the bridges, that is, works of river defenses were carried out in specific areas.

Keywords: Hydrogeomorphological picture; Debris flow; Water balance; Hydrographic basin; Floods; Runoff.

Caso de Estudio: "Cuenca del río Lluta" implementación de la Cartografía Hidrogeomorfológica para la definición de zonas de riesgo hídrico, así poder brindar la posibilidad de mitigar sus efectos mediante la construcción de obras de protección.

Introducción

El río Lluta tiene una longitud de 147 km, siendo sus principales tributarios el Río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma. El río presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina. Asimismo, la cuenca se caracteriza por la escasez de precipitaciones y, por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle donde el uso del suelo es agrícola. El clima característico de la cuenca es de tipo desértico con todas sus variantes, es decir, desértico costero, desértico de interior o normal y desértico de altura. Este clima se caracteriza principalmente por escasez de precipitaciones, las cuales se limitan a las áreas superiores de la cuenca en el sector cordillerano.

La precipitación media anual en la cuenca, aumenta gradualmente desde 0,4 mm en la cuenca inferior, información obtenida en la localidad de Poconchile y en la cuenca alta tiene un promedio de 237,7 mm, obtenido en registros capturados en la ciudad de Putre. Las precipitaciones, se concentran en temporada estival producto del llamado invierno Altiplánico. La temperatura media anual registrada en la cuenca baja, es de 19,1°C y, en la zona altiplánica es de 8,4°C. La variabilidad que presenta la cuenca entre ambos sectores, es de 10,7°C. La escorrentía superficial media anual registrada en la cuenca, alcanza valores no superiores a 1 mm/año en la zona baja del valle del río Lluta que se extiende desde la desembocadura hasta el sector de la Quebrada Socoroma. Desde este último punto, hacia los planos altitudinales altos de la cuenca, los valores de escorrentía aumentan hasta llegar a los 50 mm/año. Relacionados con la disponibilidad de los recursos hídricos, las pérdidas de agua por evaporación en esta cuenca son altas en comparación a otras. Las pérdidas que se han registrado en la zona baja del valle del río Lluta y, en los humedales del sector alto de la cuenca, cuyos valores promedio de evaporación registrados anualmente alcanzan los 2.081 mm.

El río Azufre está principalmente influenciado por el volcán Tacora, el que confiere al río Lluta, su característica de alto contenido de azufre, pH bajo y metales en suspensión. Además, la presencia de formaciones de andesita – de potencial de generación ácido - aguas abajo de la junta con la Quebrada Caracarani, disminuye aún más el pH. Posteriormente, la presencia de calcita tiende a amortiguar el pH. Aguas abajo de la Quebrada Colpitas, se encuentran rocas andesíticas y volcánicas que inciden nuevamente en la calidad de las aguas del río (aumentando su acidez). Su desembocadura, está condicionada por la presencia de

rocas carbonatadas, las que tienden a amortiguar el pH. El volcán Tacora está catalogado como un volcán activo (se desconoce la fecha de su última erupción), del tipo fumarólico, con estructura de estratovolcán, ubicado 17°43'S; 69°46'W. (fuente, Dirección General de Aguas 2004).

La hidrogeología de la cuenca se caracteriza por la presencia de formaciones cuaternarias que consisten en los depósitos fluviales que abarcan principalmente los tramos medios y superiores del valle del sector bajo del Lluta.

El espesor total de la formación se estima en 200 m. aproximadamente. Depósitos que se dividen en tres unidades; superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de capas de grava con un diámetro de 5 a 30 cm. Por otra parte, la unidad media consiste en capas impermeables de toba. La matriz de los depósitos está rellena principalmente con limo y arena muy fina originada de las cenizas volcánicas. Esto disminuye la permeabilidad de los depósitos. Luego la Formación Concordia de depósitos marinos que se distribuye sobre Villa Frontera y las áreas de Concordia en los tramos inferiores del valle del río Lluta. El espesor total de la formación alcanza aproximadamente 200 m. formación que también se divide en tres unidades; superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de arena no consolidada. La unidad media consiste principalmente de cenizas volcánicas. En el caso de las litofacies, las unidades superior e inferior se consideran permeables, aún cuando la unidad media se estima impermeable. También, están los depósitos detríticos que consisten en sedimentos de talud, sedimentos de ladera y sedimentos de abanico. Los sedimentos de talud y ladera se componen de clastos de diferente tamaño. Los sedimentos de abanico se componen principalmente de limo y arena. Estos depósitos se distribuyen en las faldas de la cordillera. Otro elemento a considerar son la toba pumícea, que consiste en ceniza volcánica y pumita, se distribuye en Gallinazos y Apacheta, en los tramos inferiores del valle del río Lluta. La permeabilidad se considera reducida.

Los depósitos fluviales recientes, que consisten en arena, grava y limo, se distribuyen a través del cauce del río Lluta. Los depósitos son menos permeables debido a que la matriz está rellena con una gran cantidad de materiales finos. (fuente, Dirección General de Aguas 2004).

Otra característica importante de la hidrogeología, está dada por la presencia de los acuíferos ubicados en el valle sector bajo del Lluta y aquellos que se encuentran

en el sector alto del río.

La información disponible actualmente, se limita a aquellos situados en el valle (fuente, Dirección General de Aguas 2004). Los acuíferos presentes en el valle son dos, uno de ellos poco profundo y el otro profundo. El primero, de tipo no confinado, está contenido en las unidades superiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia, con profundidades del orden de 10 m a 30 m y ancho considerable (fluctuando entre 800 m y 4.000 m). El segundo es básicamente del tipo confinado siendo en algunos lugares semi - confinado. Está contenido en las unidades inferiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia, extendiéndose sobre todo el Valle del Bajo Lluta entre Rosario y la costa. Tanto el espesor como el ancho del acuífero aumentan gradualmente hacia aguas abajo.

De acuerdo a la información proporcionada por el Mapa Hidrogeológico respecto a los acuíferos ubicados en la parte superior de la cuenca, se puede decir, que este tipo de formación existe en la parte alta del río Caracarani, donde se ubica un acuífero poco explorado, formado por rocas permeables. La calidad química del agua de este tipo de acuífero es buena. En la parte alta del río Colpitas, se ubica un acuífero semiconfinado con calidad química del agua variable. (Fuente, Mapa Hidrogeológico de Chile de la DGA representa las características hidrogeológicas generales de la cuenca del río Lluta).

En la zona alta de la cuenca superior a 4.000 m se evidencian cordones prealtiplánicos con aporte de materiales volcánicos del terciario y cuaternario, produciendo aterrazamiento. El anegamiento lacustre que ha experimentó esta zona, unido a la intensa meteorización de materiales superficiales, creó una cubierta detrítica sobre planos inclinados, con materiales de gravas y gravillas, es decir material grueso. Las cuencas intermontañas localizadas entre los cordones prealtiplánicos están anegadas por sedimento piroclástico y lávico entre los 3.000 y 1.500 m s.n.m. se encuentran pediplanos y sistemas de glaci o pediments, que se dividen en dos sectores: entre los 2.500 m y 3.000 m. La segmento superior corresponde a un plano inclinado sobre roca fundamental meteorizada. La sección inferior entre los 1.500 y 2.500 m está constituida por una cubierta de arenas gruesas y finas, en tránsito de escurrimiento hacia las pampas. En zonas de pampa entre las cotas de 600 m. y 1.500 m. se genera una meseta basculada de norte a sur, descendiendo desde las proximidades de Arica hacia el sur. (Fuente, Börgel, R. 1983)

El drenaje superficial de aguas en el desierto se debe a la tectónica moderna y la morfología de acumulaciones finas y gruesas. Aportes desde las quebradas que entran a la pampa desde la precordillera, siguiendo la dirección

del basculamiento de los bloques que comprenden el subsuelo de ella. Los rellenos de las zonas de pampa, corresponden a lenguas distales de los aluviones que descienden desde la zona andina y están representados por arenas y detritos gravosos depositados por mecanismos laminares generados por débiles películas de aguas. Hacia la desembocadura existen zonas denominadas llanos de sedimentación continental, correspondientes a un efecto de llanura de acumulación detrítica producida por la coalescencia de materiales continentales con depositaciones marinas, organizando una playa de sedimentación aluvial antigua, erosionada en la actualidad por crecidas torrenciales que han excavado lechos de paredes verticales en dichas acumulaciones. La morfología fluvial de la cuenca del río Lluta se caracteriza por ser preferentemente rectilínea, con excepción de la sección del valle donde es difluente (Fuente, Cade-Idepe Consultores en Ingeniería 2004).

Carta Hidrogeomorfológica

Es la presentación de una imagen precisa y exacta de las condiciones ofrecidas al escurrimiento en un espacio determinado. La carta permite, por planimetría, determinar las superficies afectadas por tal o cual combinación de factores que definen un tipo de comportamiento hidrológico. La carta constituye así un instrumento indispensable para la interpretación de las mediciones hidrológicas. (La Cartografía Hidrogeomorfológica Detallada y su interés para el estudio de los Regímenes Fluviales. Centro de Geografía Aplicada-Instituto de Geografía- Universidad de Strasbourg, 1964).

A contar de la definición descrita precedentemente para la cuenca hidrográfica superior del Lluta, la cartografía hidrogeomorfológica es un documento con características particulares y se encuadra perfectamente en el estudio de cuencas hidrográficas, contribuyendo a detectar problemas concretos en las mismas. Un aspecto y característica que reúne la cartografía es informar sobre los fenómenos geomorfológicos que afectan los diversos cursos de agua, valiéndose además de toda información complementaria obtenida de cartas temáticas o especiales.

El problema de control aluvional consiste esencialmente en controlar grandes cantidades de sedimentos, arrastrados durante crecidas intensas y de corta duración. En cauces de montaña los sedimentos pueden ser arrastrados mediante un transporte dinámico, debido principalmente a las fuerzas de arrastre del flujo, o como un flujo de sedimentos gravitacional (flujos detríticos o de barro). Lo anterior depende de la morfología del lugar (en particular la pendiente del lecho), de la concentración y características de los sedimentos (distribución granulométrica y composición), de las características de

la fuente de sedimentos y la posibilidad de obstrucciones temporales del cauce (Armanini et al., 1991). la fuente de sedimentos y la posibilidad de obstrucciones temporales del cauce (Armanini et al., 1991).

La carta hidrogeomorfológica del río Lluta es el reflejo de un sistema fluvial regido por la gravedad, ya que los movimientos de fluidos son el resultado de la acción de la gravedad, produciendo un movimiento de fluido pendiente abajo. Además de considerar los diferentes factores que controlan el desarrollo de la morfología fluvial, sobre todo en cuanto al tipo de canal. Según Schumm & Litchy (1965) (en Shumm, 1981):

- Tiempo
- Relieve inicial
- Geología (litología-estructura)
- Clima
- Vegetación (tipo y densidad)
- Relieve o volumen del sistema sobre el nivel de base.
- Hidrología (escorrentía y carga sedimentaria en la parte superior del sistema)

- Red de Drenaje
- Morfología de las pendientes.
- Hidrología (descarga de agua y sedimento hacia las zonas media e inferior del sistema fluvial).
- Morfología del canal y del valle y características del sedimento.
- Morfología del sistema deposicional y características del sedimento.

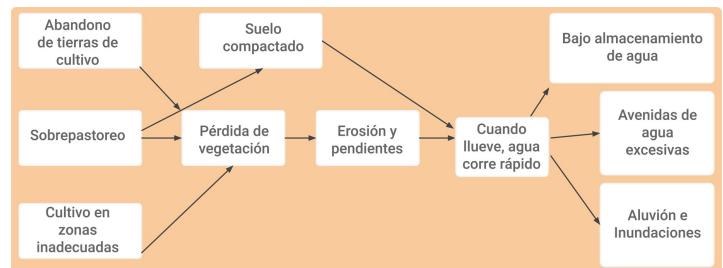


Figura n° 1: relación entre diferentes variable que generan el problema en la cuenca del Lluta

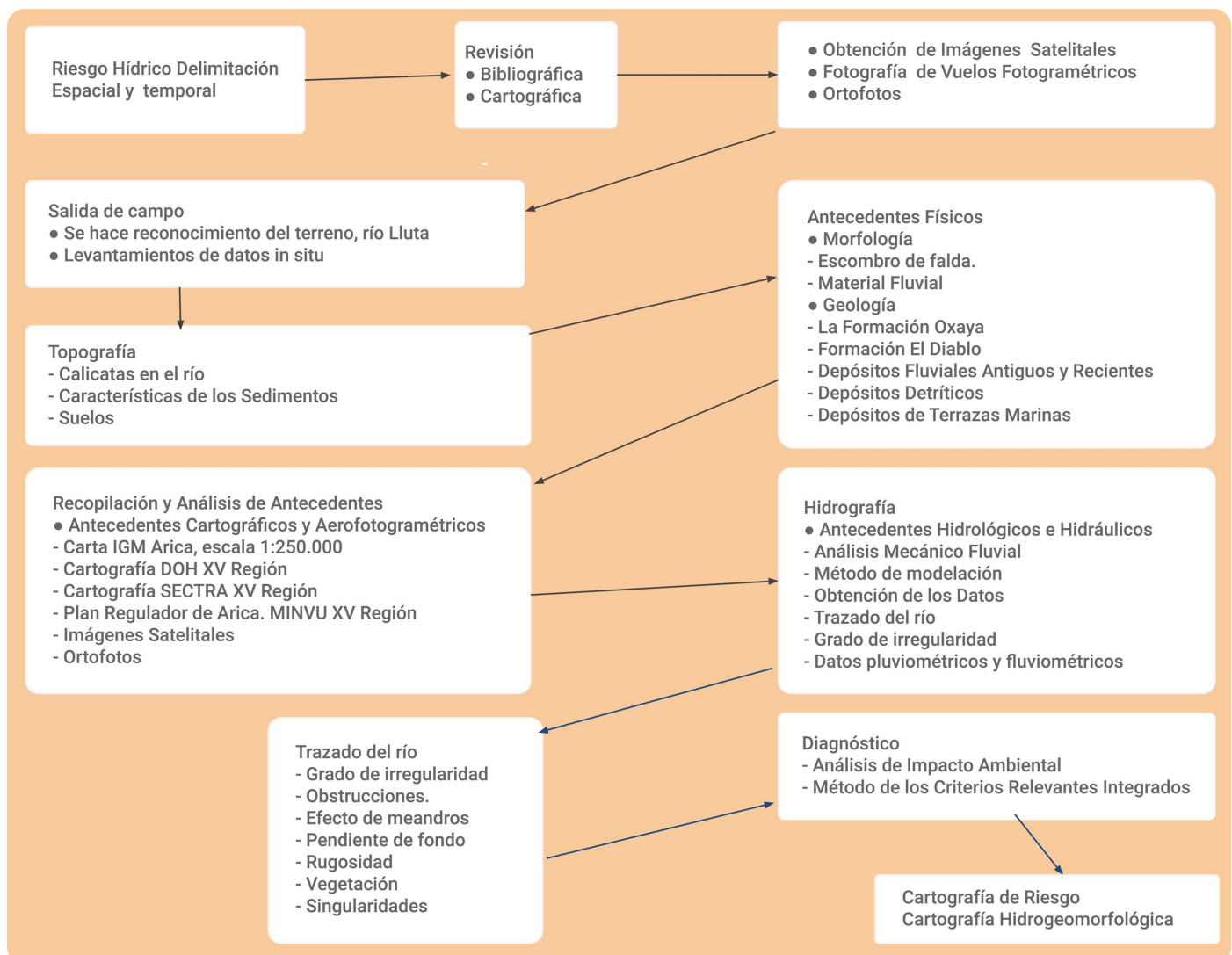


Figura n° 2: Metodología desarrollada para la generación de Cartografía Hidrogeomorfológica y de Riesgo.

En el tramo alto de la cuenca se activan los procesos de vertiente por haber una pendiente más abrupta, estos procesos son creep, socavación, cárcavas, nichos de deslizamiento y erosión lineal.

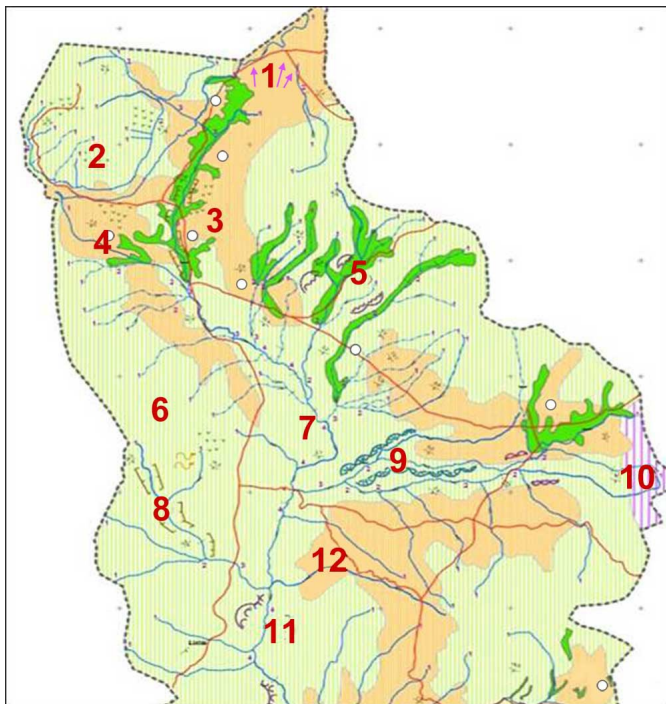


Figura n°3: Representación de la carta hidrogeomorfológica del Río Lluta (tramo alto). (Fuente, del Autor).

Cada número de este tramo descrito en la figura n° 3 corresponde a lo siguiente:

- (1) Erosión Lineal
- (2) Creep
- (3) Capacidad de Infiltración media (roca volcánica fracturada)
- (4) Curso de Agua permanente
- (5) Vegetas y Bofedales
- (6) Capacidad de Infiltración alta (depósitos no consolidados-relleno)
- (7) Orden de Strhaler
- (8) Socavación
- (9) Cárcavas
- (10) Capacidad de Infiltración Muy Baja (Rocas Sedimentarias y Mixtas)
- (11) Nichos de Deslizamientos
- (12) Pendientes

En este tramo se presentan vegetas y bofedales, que de igual forma no son suficiente para que no se activen los procesos de erosión. Además existe un curso de agua

este tramo, lo que es consecuencia en parte de la pendiente que presenta el mismo. Se dan brazos en torno al curso de agua permanente que alcanzan el cuarto orden de Strahler.

El río presenta una capacidad de infiltración alta (depósitos no consolidados – relleno) lejano al lecho de inundación del río. En el flanco derecho del río Lluta en este tramo, se presenta una porción de terreno con capacidad de infiltración muy baja (rocas sedimentarias y mixtas), pues corresponde al depósito de material de los brazos que llegan hasta el cuarto orden de Strahler. El río en su tramo más alto presenta en su lecho de inundación una capacidad de infiltración media (roca volcánica fracturada).

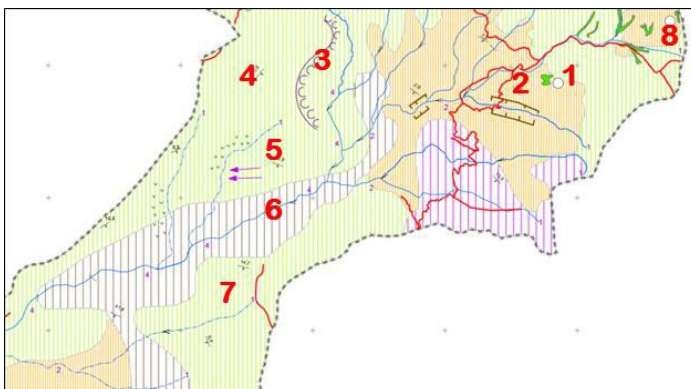


Figura n°4a: Representación de la carta hidrogeomorfológica del río Lluta (tramo medio). (Fuente, del Autor).

Cada número de este tramo descrito en la figura n°4a corresponde a lo siguiente:

- (1) Capacidad de Infiltración media (roca volcánica fracturada)
- (2) Socavación
- (3) Nichos de Deslizamiento
- (4) Capacidad de Infiltración alta (depósitos no consolidados-relleno)
- (5) Erosión Lineal
- (6) Capacidad de Infiltración Muy Baja (Rocas Sedimentarias y Mixtas)
- (7) Curso de Agua temporario
- (8) Vegetación menos 25%

Se encuentra vegetación menor al 25%, disminuye respecto al tramo alto. Al existir menos vegetación en esta zona, provoca que no se pierda el flujo normal de escorrentía superficial, por lo que se desencadenan los procesos normales de vertientes como la erosión lineal, socavación, nichos de deslizamiento. Produciendo arrastre de material hacia el tramo bajo del río. Debido a la fuerza de socavación y arrastre con la que viene la escorrentía superficial desde el tramo alto, es que se generan cursos de agua temporarios.

Conclusión

Se ha presentado a la carta hidrogeomorfológica como la herramienta que aplica para desarticular la cuenca y entregar una visión sinóptica de la cuenca del río Lluta la que por efectos de las Lluvias generadas en períodos estivales generan un aporte mayor de escorrentía de superficie que con lleva al arrastre de materiales generando flujos detríticos que producen daños y alto riesgo en la cuenca inferior.

Para el efecto de las barreras en el flujo detrítico, los aportes que se obtienen de la carta hidrogeomorfológica se puede aplicar diferente estrategia de control aluvional, y dependiendo además de las condiciones de flujo y del terreno, este tipo de obras pueden resultar efectivas para la mitigación del riesgo aluvional. Barreras impermeables pueden actuar como importantes trampas de sedimento en pendientes no muy pronunciadas, mientras que barreras permeables son capaces de retener, temporalmente, considerables volúmenes de sedimento, retardando así el caudal máximo de descarga de sedimentos. El espaciamiento entre barreras constituye un elemento importante en el diseño, ya que en gran medida controla el comportamiento y efectividad de ellas. Nuevos estudios tendrán que definir el espaciamiento óptimo en función de la estrategia de control deseada, como también profundizar en la caracterización mecánica de flujos de agua-sedimentos de granulometrías extendidas.

Bibliografía

Alfaro, W. 2000. Programa de protección y forestación de riberas para la defensa de los terrenos agrícolas en el Valle del Río Lluta. Estudio morfométrico. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 12 pp.

Anexo E Informe de Hidrogeología 2010. "Caracterización Hidrogeológica inicial del Proyecto Los Pumas - Minera Hemisferio Sur" XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Declaración de Impacto Ambiental. Preparado por Aquaconsult para Southern Hemisphere Mining Limited.

Börgel, R. 1983. Geomorfología de Chile. Instituto Geográfico Militar de Chile. Santiago de Chile. 135 páginas.

Consultoría PM-29 - 2003 "Plan Maestro de aguas lluvias de Arica. Manejo de los cauces de los ríos Lluta y San José y sus desembocaduras. Arica, I Región"

Corporación Nacional Forestal, (CONAF) - Dirección Regional CONAF I Región, (Marzo 2000), Departamento Forestal, Programa de Protección y Forestación de Riberas para la Defensa de los Terrenos Agrícolas en el Valle del Río Lluta, Estudio Morfométrico.

Dirección General de Aguas Diciembre 2004. Diagnóstico

y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Lluta.

Dirección General de Aguas - MOP, 1990. "Análisis Estadístico de Caudales de los Ríos de Chile. Iª región".

Dirección General de Aguas 2002. "Estudio de la Crecida del Río Lluta en Febrero de 2001". Departamento de Hidrología.

Dirección de Obras Hidráulicas - MOP 2002. "Estudios básicos de los recursos hídricos valles Lluta, Azapa, Vitor y Camarones". Capítulo 7: Características de los Sedimentos.

Dirección de Obras Hidráulicas - MOP 2003. Análisis Crítico al Cálculo de la Crecida del Río Lluta en Febrero de 2001.

Dirección de Obras Hidráulicas 2003. Plan de Manejo del Cauce para la Cuenca del Río Lluta. Tomo III. Volumen II.

Marini M. F., Schillizi R. y Piccolo M. C., 2009. Carta hidrogeomorfológica de la cuenca superior de los arroyos Pillahuincó Grande y Pillahuincó Chico, Buenos Aires, Argentina. Arroyos 71 Pillahuincó grande y Pillahuincó chico. Artículos Revista de Geografía Norte Grande, 42: 71-80.

Marini M. F. y Piccolo M. C. 2005. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. Investigaciones Geográficas (Esp), Núm. 37, 2005, pp. 59-71 Universidad de Alicante. España.

Martín J. 2007. Erosión hídrica en cárcavas y barrancos de la provincia de Segovia, España. www.aulados.net Geología & Yacimientos Minerales.

Mikkan R. 2007. Aguas Salvajes. El Problema Aluvional de la Ciudad de Mendoza Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Filosofía y Letras.

Muñoz M. 1997. Estudio Geomorfológico de la Cuenca del río Lluta. LLuta-ET2/INF.

Ollero A. 1996. Dinámica de meandros y riesgos hidrogeomorfológicos en Alcalá de Ebro y cabañas de Ebro (Zaragoza). IV Reunión de Geomorfología Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds. Sociedad Española de Geomorfología O Castro (A Coruña).

Ollero A. et al. 2007. Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia* 52, pp 113-141.

Ollero A.; Ballarín D.; Díaz E.; Mora D.; Sánchez M.; Acín V.; Echeverría M.; Granado D.; González A.; Sánchez L.; Sánchez N. 2008. (IHG) Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. Asociación Ibérica de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409

Ollero A. Ballarín D. y Mora D. 2009. Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica. Universidad de Zaragoza. Área de Geografía Física.