

**DELINEADO AUTOMATICO Y MANUAL DE CUENAS. COMPARACIÓN, CALCULO DE
DERRAMES MAXIMOS Y MORFOMETRÍA. RUTA 150, SAN JUAN, ARGENTINA.**

Autores:

Oscar Mario FERNÁNDEZ

María Yanina ESPER ANGILLIERI

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Universidad Nacional de San Juan

Av. Libertador General San Martín 1109 (oeste), San Juan (5400).

Tel/Fax: 0264-4228666/4272439

CONICET. INGENIO. Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ.

email: mfernandez@eicam.unsj.edu.ar

Nº Cel:02645040695

DELINEADO AUTOMATICO Y MANUAL DE CUENCAS. COMPARACIÓN, CALCULO DE DERRAMES MAXIMOS Y MORFOMETRÍA. RUTA 150, SAN JUAN, ARGENTINA.

Fernández OM¹; Esper Angillieri MY¹²

¹EICAM. Facultad de Ingeniería, UNSJ. E-mail: mfernandez@eicam.unsj.edu.ar

²CONICET. INGENIO. Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ. E-mail: yaninaesper@gmail.com

RESUMEN

El área de estudio abarca un tramo de la Ruta 150 entre el puesto de Guarda Vieja, ubicado a 206 km de la ciudad de San Juan y la quebrada de San Lorenzo. Se efectúa la evaluación de los aspectos hídricos y morfométricos de cuencas que afectan y pueden afectar el tramo de ruta considerado. Los estudios resultantes asumen el rango de relevantes y prioritarios al entender que el tramo de ruta considerado es el principal y único acceso al futuro túnel Internacional de Agua Negra. Se han identificado un total de 16 cuencas, digitalizadas manualmente en ambiente SIG, que drenan hacia el tramo de ruta. La delimitación de las cuencas se realizó a partir de la interpretación de imágenes satelitales con la ayuda de modelos digitales, cartas topográficas y hojas geológicas. Sus aspectos morfométricos, indican que la de mayor cuenca posee 57,30 km² de superficie, mientras la de menor apenas supera el 1,7km². Además, se han delimitado las cuencas de manera automática mediante algoritmos en SIG, el software fue capaz de identificar 17 cuencas. En su mayoría se trata de cuencas elongadas con susceptibilidad a la ocurrencia de flujos con bajo contenido de material.

Adicionalmente, se han identificado las geoformas resultantes de PRM dentro de las cuales un total de 10 están relacionadas a flujos repentinos (*flash floods*) de origen netamente climático, relacionados a fuertes precipitaciones estacionales de carácter torrencial. Los valores obtenidos con la simulación lluvia-caudal, señalan un alto peligro de avenidas, con altos caudales pico que pueden ocasionar importantes daños aguas abajo de la cuenca.

Finalmente, la metodología aplicada resulta fácil de reproducir y puede ser aplicada en otras regiones montañosas de similares características.

INTRODUCCIÓN

Para el proyecto de un camino es necesario realizar estudios hídricos los cuales sirven para evaluar el efecto de la alteración del escurrimiento natural, que impondrá la presencia de la futura obra vial, y las consecuencias de la concentración de los mismos sobre cada una de las alcantarillas del camino a realizar.

La cuenca de la Quebrada de Agua Negra se caracteriza por registrar eventos de torrencialidad como desencadenantes de inundaciones y de procesos de remoción en masa, en adelante PRM, que afectan la normal circulación del acceso principal al túnel internacional. Por estas razones se planteo para la zona de estudio el análisis hídrico con énfasis en la identificación de PRM, de modo especial aquellos derivados de las variables climáticas, principalmente flujos y avenidas. Los aluviones o avenidas (*flash floods*) son uno de los peligros geológicos más comunes en la región de estudio. De acuerdo a [NWS/NOAA \(2013\)](#), un aluvión o avenida (*flash flood*) es un flujo extremadamente veloz que ocurre normalmente en zonas áridas. Estas avenidas crecen en magnitud cuando el índice de infiltración del terreno es reducido por lluvias previas. Los aluviones pueden ocurrir luego de escasos minutos hasta horas de fuertes precipitaciones torrenciales, por la rotura de una presa o albardón, o una descarga repentina de agua desde un dique de hielo. Estos flujos constituyen generalmente un elevado peligro, particularmente debido a su gran velocidad, gran recorrido (numerosos kilómetros) y su capacidad para transportar elementos de gran porte en arrastre que implica un poder destructivo significativo ([Sepúlveda 2000](#)).

Los estudios resultantes asumen el rango de relevantes y prioritarios al entender que el tramo de ruta considerado es el principal y único acceso al futuro túnel Internacional de Agua Negra. El Paso de Agua Negra forma parte de la Infraestructura de Transporte Terrestre de Integración Física entre Argentina y Chile, ubicándose en la zona central de ambos países y alineándose de esta forma con un eje productivo y la concentración de las más grandes ciudades que garantizarán un alto nivel de demanda de transporte internacional, no sólo binacional, sino también del Mercosur. Este Paso es la llave estratégica del Corredor Comercial entre el Puerto de Coquimbo de Chile y Porto Alegre de Brasil.

En el presente trabajo, la morfometría y las características hidrográficas de las cuencas son estudiadas a través de métodos estadísticos, trabajos de campo, mapas topográficos, imágenes satelitales, a fin de proporcionar bases para la mitigación de los procesos de remoción en masa que afectan y pueden afectar el tramo de ruta considerado y la consiguiente implementación de obras de arte en el proyecto del camino.

ÁREA DE ESTUDIO

La quebrada de Agua Negra se ubica en la Provincia de San Juan, en el Departamento Iglesia, la misma cubre una superficie de 555,91 km² entre la localidad de Las Flores y la divisoria de aguas que marca el límite internacional entre Argentina y Chile ([Moreno 2000](#)). El área específica de estudio abarca un tramo de la Ruta Internacional N° 150 entre la quebrada de San

Lorenzo y el puesto de Guarda Vieja, ubicado aproximadamente a 206 km de la ciudad de San Juan (Figura 1).

El relieve de la zona es montañoso, caracterizado por altas pendientes y profundos valles. El arroyo de Agua Negra fluye entre la cordillera de Agua Negra por el N y E, y la cordillera de Olivares por el S y O, dependiendo del tramo que se esté considerando. La cordillera de Agua Negra presenta un rumbo aproximado NO-SE, alcanzando las mayores elevaciones en las nacientes de la quebrada, donde supera los 5500 msnm. En el tramo inferior de la cuenca los picos más altos se encuentran en el Cerro Fortuna (4376 msnm) y el Cerro El Bronce (4033 msnm). La cordillera de Olivares se eleva al sur del arroyo del Agua Negra y alcanza mayores elevaciones que la anterior, llegando a los 6266 msnm en las cabeceras del glaciar Olivares, mientras que hacia el norte sus picos más elevados superan los 5700 msnm. Hacia el límite internacional, por encima de los 5800 msnm, se eleva el Cerro San Lorenzo, al norte del arroyo homónimo y unos kilómetros al noreste, se encuentra el paso del Agua Negra a una cota de 4779 msnm.

El arroyo del Agua Negra, tributario del río Jáchal, constituye el río troncal de la cuenca. Se origina en el frente del glaciar homónimo, a una cota de 4500 msnm y su desembocadura en el sector pedemontano se encuentra a los 2600 msnm. La longitud del curso en la Cordillera Frontal es de 57 km. La quebrada de Agua Negra presenta una orientación NNO-SSE en el tramo superior de la cuenca y luego se orienta E-O en las cercanías de la desembocadura.

El clima de la zona es típico de los Andes semiáridos. Según Moreno (2000) pueden diferenciarse claramente dos pisos climáticos. Desde las nacientes de la quebrada hasta los 3000 msnm, el clima es frío y seco de montaña. Las temperaturas medias son de 0°C en invierno y 12°C en verano, las medias máximas corresponden a enero y febrero; entre mayo y septiembre la media es bajo cero, siendo las mínimas entre julio y agosto. Se presentan grandes amplitudes térmicas diurnas y estacionales, en verano 25°C entre el día y la noche, mientras que en invierno se registran hasta 45°C de amplitud. La precipitación, en forma de nieve, alcanza valores de 100-350 mm/a (Minetti et al. 1986), los meses de junio a agosto registran las mayores nevadas. Según Schrot (2001) la alta radiación solar global domina el balance energético. Este último autor midió 314 ciclos de congelamiento-descongelamiento a una cota de 4720 msnm, en superficie por año. Esto le da a la zona características típicas de un ambiente criogénico, como se detalla más adelante. Por debajo de los 3000 msnm, el clima es templado seco, con temperatura medias anuales de 20°C, con mínimas de 0°C y máximas que pueden superar los 35°C. Las precipitaciones estivales se dan como lluvias torrenciales y no superan los 100 mm/a.

El área de estudio está emplazada en la Provincia Geológica de Cordillera Frontal (Groeber 1938). Esta cordillera comprende principalmente depósitos neopaleozoicos que se asientan mediante discordancia angular sobre un basamento de edad proterozoica media.

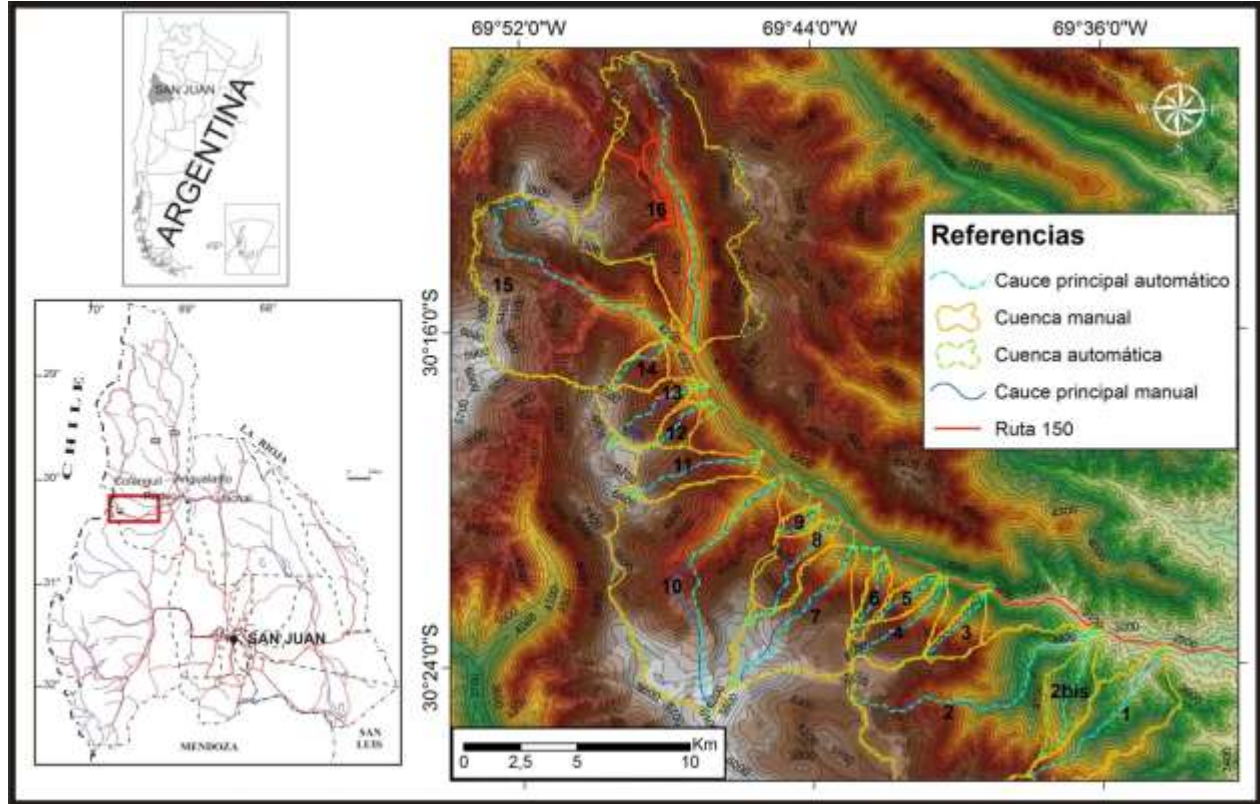


Figura N°1. Ubicación del área en estudio. Delineado de Cuenas.

Desde el punto de vista litológico, la unidad estratigráfica, más antigua, aflorante en la zona específica de estudio corresponde a las sedimentitas del Carbonífero Superior - Pérmico Inferior de la Formación Cerro Agua Negra (Polanski 1970), la misma está compuesta por areniscas gris verdosas de grano fino a mediano y pelitas oscuras, con escasas intercalaciones de conglomerados finos. Presenta abundantes restos de fauna y flora fósil. Sobre esta unidad y en discordancia angular se observan sedimentitas y/o andesitas pertenecientes a la sección inferior del Grupo Choiyoi (Groeber 1946; Rolleri y Criado Roque 1969), este grupo, de edad Pérmico-Triásico Inferior, consiste en una extensa unidad volcánica compuesta por andesitas de color gris claro a violáceo en la parte inferior y riolitas en la sección superior (Figura 2).

En ambas márgenes de la quebrad se observan los afloramientos del Granito Agua Negra (Quartino y Zardini 1967) constituido por una granodiorita hornblenda-biotítica y un granito con biotita rico en ortosa. Este intruye a las sedimentitas de la Formación Agua Negra (Figura 2).

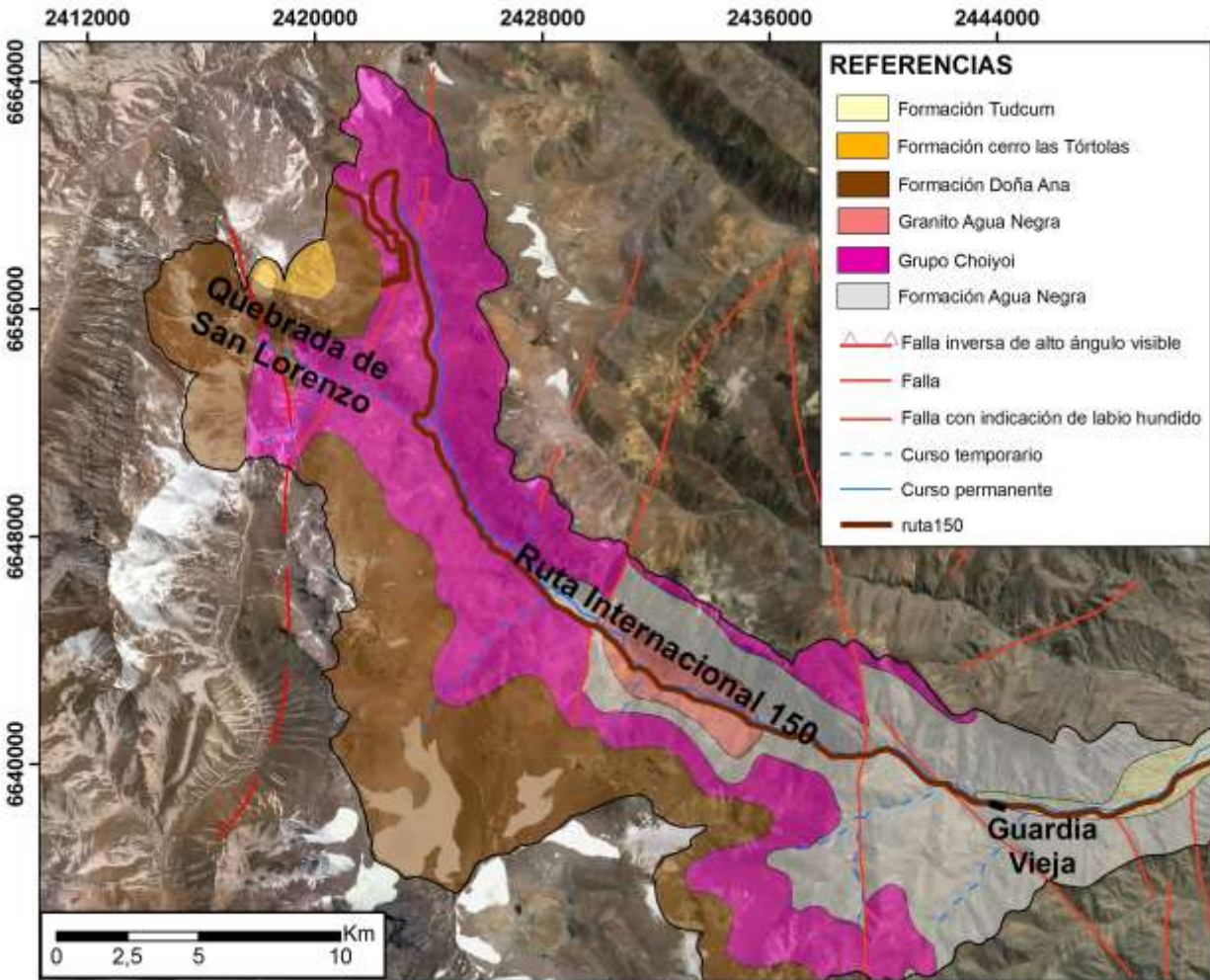


Figura N°2. Unidades geológicas aflorantes y estructuras principales.

Por encima del Grupo Choiyoi, en algunos sectores en discordancia y en otros intruido, se observa el Grupo Doña Ana (Thiele 1964; Makshev et al. 1984) del Oligoceno-Mioceno, este está integrado por tobas e ignimbritas, riolitas, dacitas y escasas intercalaciones andesíticas y basálticas de colores claros, pardo rojizo y gris amarillento y por encima está compuesto por lavas, aglomerados, brechas andesíticas y algunos niveles de dacitas. Continúan la secuencia las volcanitas andesíticas miocenas que sobreyacen en forma discordante a la Formación Doña Ana y unidades más antigua, La Formación Cerro de Las Tórtolas (Makshev et al. 1984).

Al pie de la quebrada, el Cuaternario está representado principalmente por los fanglomerados y litoarenitas de la Formación Tudcum (Furque 1979), constituida por conglomerados medianos a finos compactos. Dentro de la quebrada y a ambos márgenes se pueden observar depósitos más modernos constituidos por brechas sedimentarias, aglomerados, till y arenas de origen criogénico, glaciar, fluvial y mixto que en su mayor parte se encuentran sueltos y sin consolidación (Figura 2).

Las estructuras más destacables son fallas inversas y cabalgamientos. Los pliegues son escasos a escala. El área se ubica en el segmento de Subducción Subhorizontal, determinado por la convergencia e interacción de la placa oceánica de Nazca y la Continental Sudamericana, esto controla el alto relieve que adquiere la cordillera, la intensa deformación que afecta a las rocas aflorantes y la elevada actividad sísmica de la región, además de la ausencia de volcanismo activo.

METODOLOGÍA

Los métodos aplicados están basados en la interpretación y análisis digital de imágenes satelitales, sumado al análisis de registros climáticos, datos bibliográficos generales y específicos. La delimitación de la cuenca y la identificación e inventario de PRM se realizó a partir de la interpretación de imágenes satelitales de alta resolución adquiridas a partir de Google Earth™ (SPOT 5 con 2,5-m resolución espacial), con la ayuda de modelos digitales de elevación (ASTER GDEM V2) (NASA 2011), cartas topográficas y hojas geológicas. Las imágenes fueron georeferenciadas en coordenadas planas a través de tecnología SIG. Además, las mismas cuencas fueron delimitadas automáticamente en ambiente SIG utilizando los algoritmos de dirección del flujo y acumulación de flujo. Las direcciones de flujo se calcularon usando el modelo de flujo de dirección ocho (D8), que determina el flujo de cada celda de la cuadrícula a una de sus ocho celdas adyacentes, en la dirección con una pendiente descendente más empinada. El método D8 fue introducido primeramente por O'Callaghan y Mark (1984). La acumulación de flujo, en su forma más simple, es el número de células de ladera que desembocan en cada celda. Este método se basa en la suposición de que el flujo subsuperficial sigue la topografía.

La longitud del cauce principal (L_{cp}) y la longitud de la cuenca (L), fueron obtenidas de acuerdo con Schumm (1956). Los parámetros morfométricos fueron divididos en parámetros básicos tales como área (A), perímetro (P), longitud (L), altura máxima y mínima (H , h), longitud de cauce principal (L_{cp}) y parámetros derivados, obtenidos a partir de las siguientes ecuaciones:

Relación de elongación	$Re = (\sqrt{4A/\pi})/L$	(Schumm 1956)
Factor de forma	$Ff = A/L^2$	(Horton 1932)
Sinuosidad del cauce	$S = L_{cp}/L$	(Schumm 1977)
Ancho medio	$W_m = A/L$	
Desnivel de cuenca	$H_r = H - h$	(Hadley y Schumm 1961)
Razón de relieve	$R_r = H_r/L$	(Schumm 1956)
Número de rugosidad de Melton	$MRN = H_r/A^{0.5}$	(Melton 1957)

Para el análisis de caudales se utilizaron registros meteorológicos aplicando el método racional generalizado (Rhule 1966). El caudal de diseño para el proyecto en un punto dado del cauce de

una cuenca, está condicionado por tres factores principales: la intensidad y duración de la lluvia, y las características físicas de la cuenca que alimenta al cauce considerado. Estas características son la permeabilidad del suelo, que es el elemento vinculado a las características físicas y geológicas del terreno, la cubierta vegetal y el relieve que define la pendiente del cauce principal de una cuenca. Estos aspectos definen el coeficiente de escorrentía “E”, a partir del coeficiente de característica de los cauces “c” propuesto en las tablas de la publicación. En el mismo orden de importancia está la intensidad de lluvia, para determinarla es primordial fijar el periodo de frecuencia de los eventos, su valor también depende del tiempo de concentración. Para este trabajo se han adoptado periodos de recurrencias de 30 años para la estimación teórica de los caudales de diseño de las cuencas.

Finalmente el otro factor que integra las fórmulas es al valor del área de la cuenca que se determina su medida por el método manual y el automático. La expresión genérica para calcular el caudal es:

$$Q = \alpha \times \beta \frac{A \cdot C R i}{K}$$

Donde Q es el caudal o descarga, en (m³/s), α es un coeficiente, que tiene en cuenta la influencia sobre el derrame, de la menor intensidad de la precipitación sobre el área, β es un coeficiente, que tiene en cuenta la reducción del derrame por la retención del cauce, A es el área de la cuenca (ha), C es el coeficiente medio de escorrentía, R es la intensidad de las precipitaciones y K es un coeficiente para uniformar unidades.

RESULTADOS

Mediante la digitalización manual han sido mapeadas 16 cuencas cuyas aéreas oscilan entre los 1,78 y 55,77 km², por otro lado, mediante el método automático, el software fue capaz de identificar un total de 17 cuencas. Todas ellas capaces de afectar en mayor o menor medida al tramo de ruta considerado.

Al comparar ambos métodos (Figura 1) son notables las similitudes en la delimitación de las cuencas, sin embargo se observan ciertas diferencias en las divisoras de aguas, tanto así que en algunas cuencas como la 2, 6, 8 y 11, el método automático resulto hidrológicamente más correcto que el manual.

Los índices morfométricos calculados para cada cuenca en ambos métodos de delimitación se señalan en la Tabla 1. La comparación en la delimitación de las cuencas ha sido cuantificada en base a los trabajos de (Stanton 2001) como 1) comparando el área total delimitada, 2) calculando el porcentaje de área común del manual que incluye a las cuencas delimitadas por el método automático, 3) el porcentaje de área del método manual que fue subestimado en cuanto al método automático, y 4) el porcentaje del área delimitada automáticamente que se

extiende más allá de los límites determinados manualmente. El porcentaje absoluto promedio de diferencia entre ambos métodos es de 5,29% y oscila entre 0,50 a 13,83 %. El porcentaje promedio de área común del manual que incluye a las cuencas delimitadas por el método automático es de 95,62%. El porcentaje promedio de área del método manual que fue subestimado en cuanto al método automático es de 8.8% y oscila entre 4,28 a 12,88%. El porcentaje promedio del área delimitada automáticamente que se extiende más allá de los límites determinados manualmente es de 3,33% y oscila entre 0,35 a 7,10%.

	A [km ²]	P [km]	L [km]	Lcp [m]	Re	Ff	S	Wm [m]	Hr [m]	Rr	MRN	Pend
1	16,76	21,91	8,453	9062,71	0,54	0,23	1,07	1983,15	1930	0,23	0,47	13,18
1	17,32	27,24	8,43	9541,87	0,56	0,24	1,13	2055,71	1935	0,23	0,46	24,78
2	57,30	34,16	11,07	12818,57	0,771	0,46	1,15	5174,61	2351	0,212	0,31	12,25
2	49,92	43,33	11,22	14792,37	0,71	0,40	1,32	4447,06	2404	0,21	0,34	25,46
2b	7,68	19,08	6,36	7466,88	0,49	0,19	1,17	1207,17	1590	0,25	0,57	22,67
3	4,22	9,46	3,99	4012,99	0,58	0,26	1,00	1055,30	1970	0,49	0,96	29,47
3	4,04	12,69	4,30	4723,83	0,53	0,22	1,10	938,16	2045	0,47	1,02	30,39
4	7,72	14,23	5,45	5695,97	0,57	0,25	1,04	1415,39	2055	0,37	0,74	22,12
4	8,04	18,17	5,31	6255,58	0,60	0,29	1,18	1515,62	2059	0,39	0,73	26,21
5	2,75	7,87	3,60	3673,75	0,52	0,21	1,02	764,50	1761	0,48	1,06	29,20
5	2,50	10,16	3,44	3831,19	0,52	0,21	1,11	725,06	1665	0,48	1,05	28,68
6	2,99	9,23	3,93	4136,64	0,49	0,19	1,05	760,51	1785	0,45	1,03	26,93
6	2,82	10,24	3,60	3770,40	0,53	0,22	1,05	783,71	1758	0,49	1,05	27,69
7	20,55	21,16	7,78	8203,35	0,65	0,33	1,05	2641,25	2282	0,29	0,50	17,03
7	22,12	30,23	9,01	10911,26	0,59	0,27	1,21	2454,78	2482	0,28	0,53	19
8	7,15	13,06	5,19	5443,81	0,58	0,26	1,05	1377,38	1802	0,34	0,67	20,30
8	7,68	20,33	6,43	7726,84	0,49	0,19	1,20	1194,76	2070	0,32	0,75	21,11
9	1,77	5,74	2,42	2404,60	0,62	0,30	0,99	734,389	1004	0,41	0,75	24,45
9	1,55	7,62	2,35	2735,61	0,60	0,28	1,16	661,04	1030	0,44	0,83	24,33
10	54,82	33,68	10,92	12984,00	0,76	0,45	1,19	5017,48	2372	0,21	0,32	12,53
10	55,02	43,37	11,05	14515,72	0,76	0,45	1,31	4975,55	2435	0,22	0,33	21,68
11	8,39	14,51	5,69	6103,04	0,57	0,26	1,07	1474,53	1791	0,31	0,62	18,30
11	8,77	19,31	6,44	7350,70	0,52	0,21	1,14	1361,38	1911	0,30	0,65	24
12	2,64	7,18	2,89	2933,98	0,63	0,32	1,01	914,66	1489	0,51	0,91	30,99
12	2,71	9,06	3,33	3306,15	0,56	0,25	0,99	816,05	1521	0,46	0,92	24,1
13	7,78	13,31	4,21	4842,30	0,74	0,44	1,15	1847,92	1709	0,40	0,61	23,58
13	7,93	19,46	5,27	6186,03	0,60	0,29	1,17	1505,10	1756	0,33	0,62	24,1
14	3,774	8,946	3,59	3682,29	0,61	0,29	1,02	1049,75	1480	0,41	0,762	24,20
14	3,47	11,90	3,77	4391,38	0,56	0,24	1,16	919,34	1513	0,40	0,81	24,09
15	49,80	30,89	8,70	11853,94	0,91	0,65	1,36	5719,08	1634	0,19	0,23	10,81
15	51,04	40,38	8,67	13070,26	0,93	0,68	1,51	5882,43	1697	0,20	0,24	23,05
16	57,77	39,63	12,80	12589,08	0,67	0,35	0,98	4510,90	1169	0,09	0,15	5,23
16	58,06	44,69	13,26	15191,85	0,65	0,33	1,15	4379,25	1140	0,09	0,15	22,22

Tabla 1. Morfometría de cuencas. En sombreado cuencas manuales.

Los índices morfométricos de las cuencas relacionados a su forma, toman valores similares para ambos métodos (Tabla 1). La Relación de elongación (Re) y el Factor de forma (Ff) son importantes parámetros para analizar la forma de las cuencas. La Relación de elongación toma valores que van desde 0,48 a 0,93, lo que indica que las cuencas se caracterizan por una alta capacidad de infiltración asociado a un importante desnivel y pendientes pronunciadas (Strahler 1964). Los valores de Factor de forma han sido medidos en 0,19 a 0,68, dichos valores indican cuencas elongadas y vulnerables a la ocurrencia de flujos aluvionales. Los valores de Desnivel de cuenca (Hr) y Razón de relieve (Rr) muestran resultados similares para ambos métodos de delimitación de cuencas e indican una susceptibilidad de las cuencas a experimentar intensa erosión e importantes picos de caudales máximos. Las longitudes de los cauces principales difieren un poco entre ambos métodos, en general, estos, son apenas un poco más extensos cuando se calculan por el método automático, un 17,35% en promedio más extensos. Sin embargo, estas pequeñas diferencias no alteran los demás cálculos como la sinuosidad del cauce (S). El Número de rugosidad de Melton (MNR) es en general >0,3 lo que indica una alta susceptibilidad de las cuencas a la ocurrencia de flujos con medio contenido de material transportado.

Cuenca Nº	Area (Ha)	Longitud (Km)	Desnivel (m)	Concent. (tc)	Intensidad (P/tc)	Caract. de (C)	Caudal m ³ /seg
1	1676,4	9,06	1930	49,6	29,6	0,58	52,0
2	5730,7	12,82	2351	64,6	24,4	0,58	132,3
3	422,0	4,01	1970	23,5	49,0	0,58	26,9
4	772,2	5,70	2055	31,8	40,2	0,58	37,4
5	275,3	3,67	1761	22,4	50,5	0,58	18,3
6	299,2	4,14	1785	24,8	47,3	0,58	18,1
7	2055,1	8,20	2282	43,0	32,7	0,58	74,0
8	715,1	5,44	1802	31,8	40,2	0,58	34,7
9	177,9	2,40	1004	17,7	58,4	0,58	14,3
10	5482,7	12,98	2372	65,2	24,3	0,58	125,2
11	839,4	6,10	1791	35,3	37,4	0,58	36,8
12	264,4	2,93	1489	19,1	55,8	0,58	20,0
13	778,2	4,84	1709	29,0	42,7	0,58	41,0
14	377,4	3,68	1480	23,6	48,8	0,58	23,9
15	4980,2	11,85	1634	67,0	23,8	0,58	110,3
16	5777,3	12,59	1169	78,4	21,2	0,58	105,7

Tabla 2. Caudales obtenidos para cuencas manuales.

Por otro lado, la pendiente media de la cuenca muestra diferencias notorias por ambos métodos. Esto se debe a que cuando el cálculo es manual, el área entre dos puntos de cota se

toma como de pendiente uniforme, mientras que en el método automático la pendiente es calculada para cada pixel teniendo en cuenta su variabilidad espacial en la cuenca.

Al examinar los caudales calculados (Tabla 2 y 3) se puede observar que aquellos obtenidos mediante a partir de las cuencas delimitadas automáticamente, son ligeramente menores a los que derivan de las cuencas calculadas manualmente, en promedio 6,1% menores. Estos valores señalan alta probabilidad de serios flujos aluvionales con picos de caudales que superan los 100 m³/s.

Cuenca Nº	Área (Ha)	Longitud (Km)	Desnivel (m)	Tiempo de (tc)	Intensidad (P/tc)	Caract.de (C)	Caudal m ³ /seg
1	1732,5	9,542	1935	52,0	28,6	0,58	51,1
2	4992,3	14,792	2404	73,5	22,2	0,58	98,8
2bis	768,3	7,467	1590	44,0	32,2	0,58	27,1
3	403,9	4,724	2045	26,9	44,9	0,58	22,8
4	804,3	6,256	2059	34,6	37,9	0,58	35,9
5	250,0	3,831	1665	23,6	48,8	0,58	15,8
6	282,3	3,770	1758	22,9	49,8	0,58	18,3
7	2212,3	10,911	2482	54,7	27,6	0,58	61,8
8	768,3	7,727	2070	41,9	33,3	0,58	28,4
9	155,4	2,736	1030	19,9	54,3	0,58	11,4
10	5501,9	14,516	2435	71,9	22,6	0,58	111,8
11	876,8	7,351	1911	41,0	33,8	0,58	33,1
12	271,5	3,306	1521	21,2	52,3	0,58	18,8
13	793,1	6,186	1756	36,0	37,0	0,58	34,2
14	346,6	4,391	1513	27,6	44,2	0,58	19,2
15	5104,2	13,070	1697	72,6	22,4	0,58	102,6
16	5806,3	15,192	1140	94,3	18,5	0,58	83,5

Tabla 3. Caudales obtenidos para cuencas automáticas.

En lo referente al inventario de PRM se han identificado 19 geofomas relacionadas a la ocurrencia de PRM, de ellas el 36,8% (7) corresponden a zonas de caídas de roca, el 15,8% (3) corresponden a debris slides y el resto (47,4%) a flujos (Figura 3). De estos PRM los que más nos interesan son los flujos rápidos aluvionales relacionados a precipitaciones intensas de corta duración.

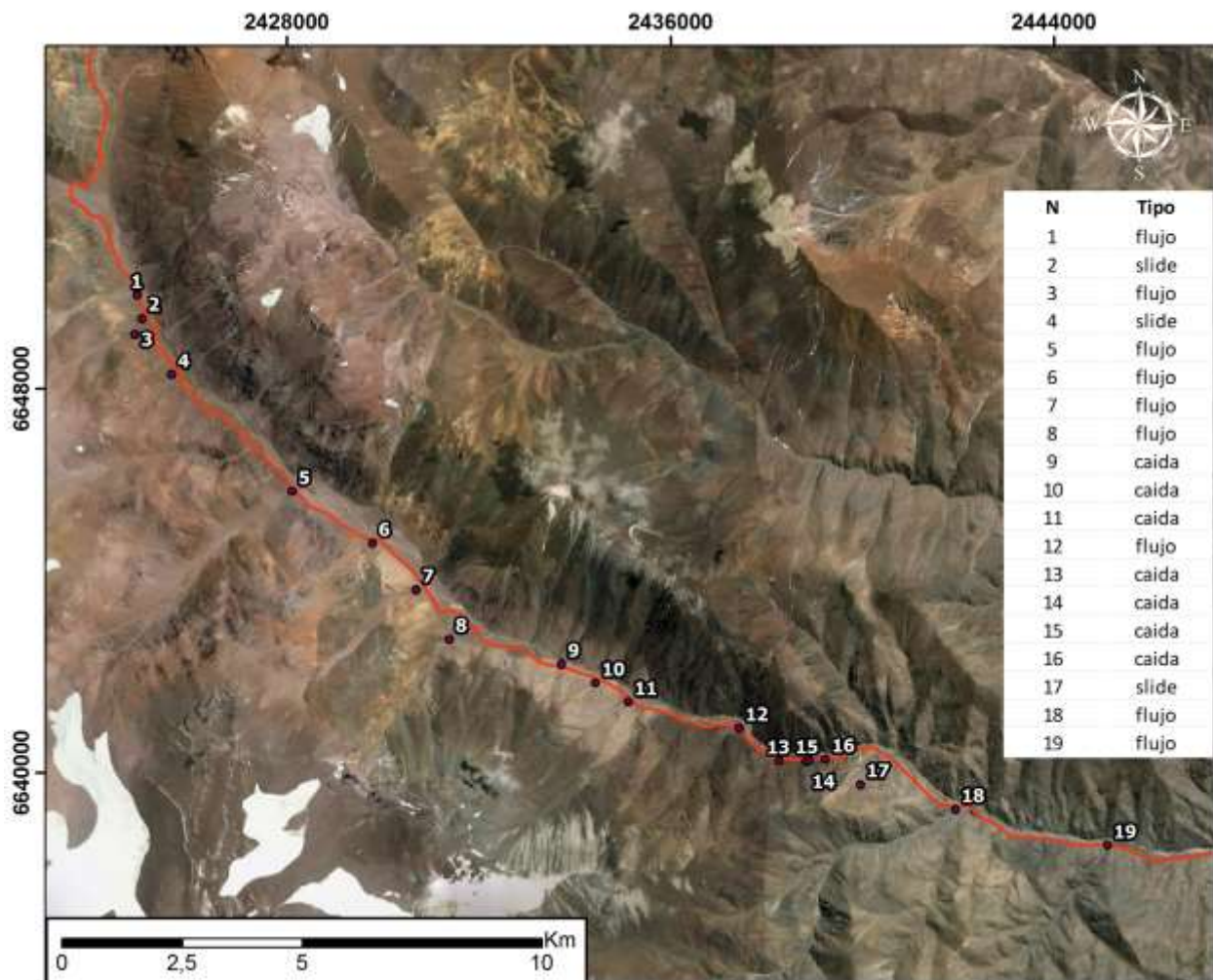


Figura N°3. Inventario de PRM.

Los principales factores que están controlando la generación de flujos en el área de estudio es la morfometría elongada de las cuencas principales sumado a su importante desnivel que favorecen un rápido escurrimiento, la gran disponibilidad de material susceptible a ser movilizado, las pendientes y la escasa vegetación.

Debido a la falta de adecuados registros y antecedentes en la región, resulta difícil determinar el período de recurrencia de estos eventos destructivos, sin embargo, se han recopilado los siguientes antecedentes para los últimos 10 años.

- El 31 de diciembre de 2006 la ruta permaneció cortada durante cuatro días por cortes de tipo aluvional entre Guardia Vieja y Arrequeintín. Fuente: Diario de Cuyo.
- El 2 de enero de 2007 permaneció cerrada al tránsito durante dos días, debido a la acumulación de lodo y piedra en las cercanías de Guardia Vieja. Fuente: Diario de Cuyo.

- El 16 de enero de 2013 la ruta sufrió un corte aluvional en el kilómetro 347 a aguas arribas del puesto de Gendarmería (Guardia Vieja). Fuente: Diario de Cuyo.
- El 19 de enero de 2013 permaneció cortada por 3 días. Fuente: Diario de Cuyo.
- El 26 de Diciembre de 2013 la ruta permaneció cerrada por cortes aluvionales. Fuente: Diario de Cuyo.
- El 8 de Febrero de 2013 la ruta estuvo intransitable por 5 días a consecuencia de cortes aluvionales. Fuente: San Juan 8.

CONCLUSIONES

La delimitación de cuencas y sus cálculos morfométricos a partir del tradicional método manual requiere un importante inversión de tiempo y trabajo de la mano de especialistas experimentados, en contraste, la delimitación automática es rápida y precisa.

La morfometría de cuencas del tramo de ruta considerado indica cuencas elongadas con importantes desniveles y pendientes. El número de rugosidad señala una gran susceptibilidad de las cuencas a experimentar flujos con cierto grado de carga de material.

Los caudales obtenidos revelan alta susceptibilidad de ocurrencia de importantes flujos aluvionales con caudales que superan los 100 m³/s.

REFERENCIAS

Furque, G. y A. Cuerda. 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. Actas 2° Simposio de Geología Regional Argentina, 1:455 - 522. Córdoba.

Groeber, P. 1938. Mineralogía y Geología. Espasa-Calpe, Argentina. 492 pp.

Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. I. Hoja Chos-Malal. Revista de la Sociedad Geológica Argentina, 1:177-208. Buenos Aires.

Hadley, R.F. y Schumm, S.A. 1961. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River Basin. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 1531-B, 198 pp.

Horton, R.E. 1932. Drainage basin characteristics. American Geophysics Union Trans., 13, pp. 350-361.

Maksaev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C., Nasi, C. 1984. Las unidades volcánicas y plutónicas del cenozoico superior en la Alta Cordillera del Norte Chico (29°-31° S): geología, Alteración hidrotermal y Mineralización. Revista geológica de Chile 11 (1): 12-51.

Melton, M.A. 1957. An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of Naval Research Project NR389-042.

- Minetti, J. L., Barbieri, P. M., Carletto, M. C., Poblete, A. G., Sierra, E. M. 1986. El régimen de precipitación de la provincia de San Juan. Informe técnico 8. CIRSAJ-CONICET. San Juan.
- Moreno, R. A. 2000. Geomorfología del corredor andino de Agua Negra, depto. Iglesia. San Juan. Revista del Instituto de Geografía Aplicada y Departamento de Geografía, 3 (4): 37-48. Universidad Nacional de San Juan.
- NASA. 2011. ASTER Global Digital Elevation Map V2. <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration's/National Weather Service (NWS/NOAA). 2013. Glossary. <http://www.weather.gov/glossary/>.
- O'Callaghan, JF., Mark, DM. 1984. The Extraction of Drainage Networks From Digital Elevation Data, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 28:328-344.
- Schrott, L., 2001. Hidrología del permafrost de montaña y su relación con la radiación solar. Estudio de una cuenca colectora en Agua Negra, Altos Andes de San Juan, Argentina. En IANIGLA 30 años de investigación básica y aplicada en Ciencias Ambientales. Mendoza.
- Schumm, SA. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, pp. 597–646.
- Schumm, S.A. (ed.). 1977. The fluvial system. New York, Jonh Wiley & Sons, 338 pp.
- Stanton, G. 2011. A Comparison of Manual and Computer-Assisted Drainage Delineation Methods for Hydrologic-Unit Map Development. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the Global Farm, 1118-1127.
- Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. en: Chow, V.T. (ed): Handbook of applied hydrology New York, McGraw Hill, pp. 4–76.
- Polanski, J. 1970. Carbónico y Pérmico de la Argentina. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Manuales. 216 pp. Buenos Aires.
- Quartino, B. J. y Zardini, R. A. 1967. Geología y petrología de la cordillera de Colangüil y las serranías de Santa Rosa y San Juan. Magmatismo, metamorfismo y metalogénesis. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 22(1):5-63. Buenos Aires.
- Rolleri, E. O. y Criado-Roque, P. 1969. Geología de la provincia de Mendoza. Actas 4° Jornadas sobre Geología Argentina, Buenos Aires, 26(3):1-60.
- Rühle, Federico G. O. (1966). Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas. La Ingeniería, N° 987. Centro Argentino de Ingenieros. 2ª edición. Buenos Aires.
- Sepúlveda, S.A. 2000. Methodology for debris flow hazard evaluation in mountainous environments. Comunicaciones 51: 3–18.