

HIDROLOGIA ALUVIONAL EN ZONAS VITIVINICOLAS. CASO DE ESTUDIO: FINCAS DEL INCA - AGRELO – MENDOZA

Adrián Vargas Aranibar , Victor Hugo Burgos

Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino (INA-CRA) - Argentina

avargas@ina.gov.ar , yburgos@ina.gov.ar

RESUMEN:

El presente estudio se enmarca en la necesidad de analizar la adecuada intervención para controlar los fenómenos aluvionales a través del control y corrección de cauces torrenciales en el área inculta de “Fincas del Inca” ubicada en la Provincia de Mendoza, a 10 Km al oeste de la localidad de Agrelo y en la margen norte de la ruta 86.

El objetivo propuesto fue el de proporcionar alternativas viables de solución para el control y corrección de los cauces torrenciales que participan en el predio estudiado a través de un estudio hidrológico e hidráulico aluvional, para obtener parámetros de diseño necesarios para el diseño y predimensionamiento de las intervenciones hidráulicas correspondientes.

Se estimó la relación lluvia-caudal para las cuencas de aporte con el uso del modelo hidrológico Arhymo, obteniendo caudales para eventos de precipitación de tipo convectivo con recurrencias de 2, 5, 10 y 25 años para los cauces aluvionales bajo análisis. Con las granulometrías obtenidas de fondos de cauces se estimaron las erosiones generalizadas. Además, se evaluaron las planicies de inundación, resultado de la modelación hidráulica con HEC RAS.

Las alternativas de solución, estarían relacionadas con la ejecución de un terraplén de material suelto y compactado adecuadamente, en todo el costado oeste de la propiedad; alcantarillado en la intersección con los cauces grande y chico; encauzamiento de los torrentes por medio de canales apraderados o de sección triangular con taludes muy suaves; disipadores de energía a la salida de las alcantarillas y en los puntos con resalto hidráulico, por medio de gaviones en escala o pedraplenamiento.

ABSTRACT:

The study presents some hydraulic structures to control flash flood in a development area located in Mendoza, Argentine. The hydrologic and hydraulic analyses allowed the design of control and correction structures. The Arhymo Model was used to represent the rainfall-runoff relationship and streamflows corresponding to 2, 5, 10 and 25 year storms. The analysis of the floodplain was performed using the HEC RAS model. The alternative solutions are: soft soil and consolidated embankments, channel stabilization with low slope cross section and gabion drops structures.

PALABRAS CLAVES:

Hidrología aluvional, rectificación de cauces, canales apraderados

INTRODUCCIÓN

En la medida que la actividad socio económica vitivinícola de la provincia de Mendoza, se desplace a zonas de mayor pendiente donde, por condición natural, se producen fenómenos aluvionales con una mayor frecuencia, se hace necesario un mayor estudio del comportamiento hidrológico de los mismos y el grado de susceptibilidad que presentan los predios incorporados a la actividad, buscando una mayor protección de los mismos y de las inversiones realizadas en ellos.

OBJETIVOS

El objetivo perseguido fue proporcionar alternativas viables de solución en cuanto al control y corrección de cauces torrenciales y áreas de inundación. Para esto se ha realizado un estudio hidrológico e hidráulico aluvional con el fin de obtener los parámetros de diseño necesarios para proyectar y calcular las obras hidráulicas correspondientes.

MATERIALES Y METODOS

La metodología aplicada comprende las siguiente acciones:

- Análisis de la tormenta de proyecto
- Caracterización de las cuencas de recepción
- Determinación de los caudales de crecidas
- Medición de perfiles topográficos transversales a los cauces
- Caracterización granulométrica de los sedimentos en cauces
- Modelación matemática de la relación lluvia-escurrimiento
- Modelación de la erosión lateral y de fondo de cauces
- Determinación de las condiciones de líneas de ribera y áreas inundables para los distintos caudales de proyecto
- Diseño de las obras de control y corrección de torrentes.

Área de estudio:

El área de estudio se encuentra en la Provincia de Mendoza, adyacente a la ruta 86, a 10 km de la ruta nacional 40, al oeste de la localidad de Agrelo en el departamento de Luján de Cuyo.



Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

RESULTADOS

Caracterización Climática:

El clima de Mendoza es templado continental seco, lo que se ve reflejado en los siguientes datos:

- La temperatura media anual es de 16°C variando las medias diarias mensuales de 8°C en Julio a 24°C en Enero.
- Las temperaturas máximas medias diarias oscilan de 15°C en Julio a 32°C en Enero y las mínimas medias diarias van de 2°C en Julio a 16°C en Enero.
- La humedad relativa media es de 52%, oscilando a lo largo del año de 42 a 62% (medias mensuales).

La precipitación media es de 194 mm. anuales, variando en el interior de la provincia de 80 a 340 mm. Las precipitaciones se desarrollan generalmente en el verano como tormentas convectivas de alta intensidad y corta duración (105 mm. en 1 hora, el 4 de enero de 1970), habiendo registros de intensidades de hasta 5 mm./min. (Maza et al, 2004)

Tormenta de Proyecto

Se utilizó la tormenta de proyecto para el Gran Mendoza elaborada por el INA-CRA. Los tiempos de recurrencia empleados fueron de 2,5,10 y 25 años.

Las tormentas de proyecto tienen 1 hora de duración y las láminas totales son:

Tabla 1.- Lámina Total Reducida por Distribución Areal [mm]

Cuenca	TR2	TR5	TR 10	TR 25
301	38.2	53.3	62.2	75.6
302+303+304	31.9	44.6	52.0	63.2

Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El MDE se elaboró a partir de los datos de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), con una resolución espacial de 90 m por píxel. A partir del MDE se generaron mapas derivados, con el objetivo de determinar y cuantificar parámetros morfométricos de las cuencas de aporte.

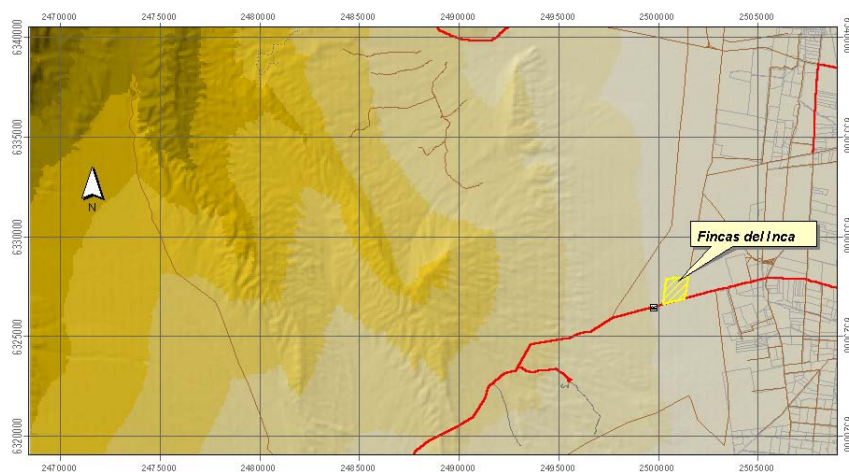


Figura 2.- Modelo Digital de Elevaciones

El mapa de dirección de flujo, indica la inclinación que posee cada píxel. El mapa de acumulación de aporte, representa en un punto determinado, la cantidad de píxeles que drenan a él, y por medio de este se identifica la red de drenaje. La hidrografía se determinó al establecer un umbral mínimo de acumulación de aporte hídrico para que sea considerado cauce torrencial, río o sólo ladera.

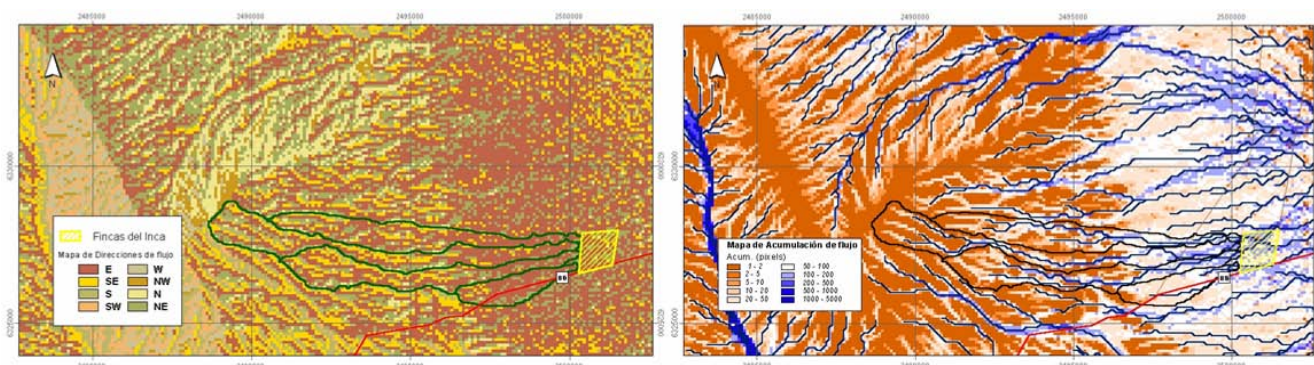


Figura 3.- Mapas de dirección y acumulación de flujo

La delimitación de las cuencas se obtuvo considerando como desagüe el límite oeste de la parcela en estudio.

Quedando evidenciadas las cuatro cuencas de aporte (301 a 304) se procedió a cuantificar los parámetros morfométricas de cada una de ellas.

Tabla 2.- Parámetros morfométricos Cuencas Aluvionales

Cuenca	Area [Km ²]	Perimetro [m]	Long. Cauce [m]	cota max cauce [m]	cota min cauce [m]	ΔH [m]	Pendiente cauce [m/m]	CN
301	2.50	8821	4175	1280	1095	185	0.044	72.5
302	5.93	20987	10118	1630	1090	540	0.053	72.5
303	7.20	26059	12567	1834	1086	748	0.060	72.5
304	5.85	21151	10417	1675	1089	586	0.056	72.5

Granulometrías

Se llevaron a cabo 11 tomas de muestra de material de fondo de lecho en los tres cauces torrenciales que atraviesan la propiedad. La metodología aplicada fue siguiendo las normas del Bureau of Reclamation USBR 5205, por medio de doble cuarteo.

El primer cuarteo se realizó dibujando un círculo de 1,60 m de diámetro en el lecho del cauce, y tomando dos cuartos opuestos se separó la muestra obtenida para ser cuarteada por segunda vez, siendo esta última la muestra a analizar. Las muestras son superficiales, tomando los primeros 25 cms del lecho.

En el cauce chico (sur) se tomaron 5 muestras, en los perfiles 1, 3, 6, 9 y 12. En el cauce grande (central) se tomaron 5 muestras, coincidentes con los perfiles 1, 6, 12, 18 y 24. Por último en el cauce norte se tomó una muestra.

El análisis granulométrico se realizó siguiendo los estándares de la norma USBR5205 que propone materiales y métodos para gradaciones a nivel de gravas y de arenas, permitiendo establecer los diámetros característicos para el cálculo de erosión generalizada.

Modelación Hidrológica

Por medio de un recorrido e inspección de la propiedad se tomaron puntos GPS de los cauces que cruzan la propiedad, determinando 3 cauces importantes (cauce grande, cauce chico y cauce norte). El primero atraviesa centralmente la propiedad en sentido oeste – este para terminar formando una planicie de inundación al chocar con el terraplén que posee la finca colindante al este. El cauce chico, cruza en forma diagonal el sur de la propiedad para terminar cruzando la ruta 86 por medio de una alcantarilla. Por último el cauce norte al igual que el central atraviesa en sentido oeste-este para terminar en el terraplén.

Luego de un análisis con imagen Ikonos se reconocieron con más detalle los cauces que cruzan la propiedad y se detectó un cuarto cauce que aporta al cauce central.

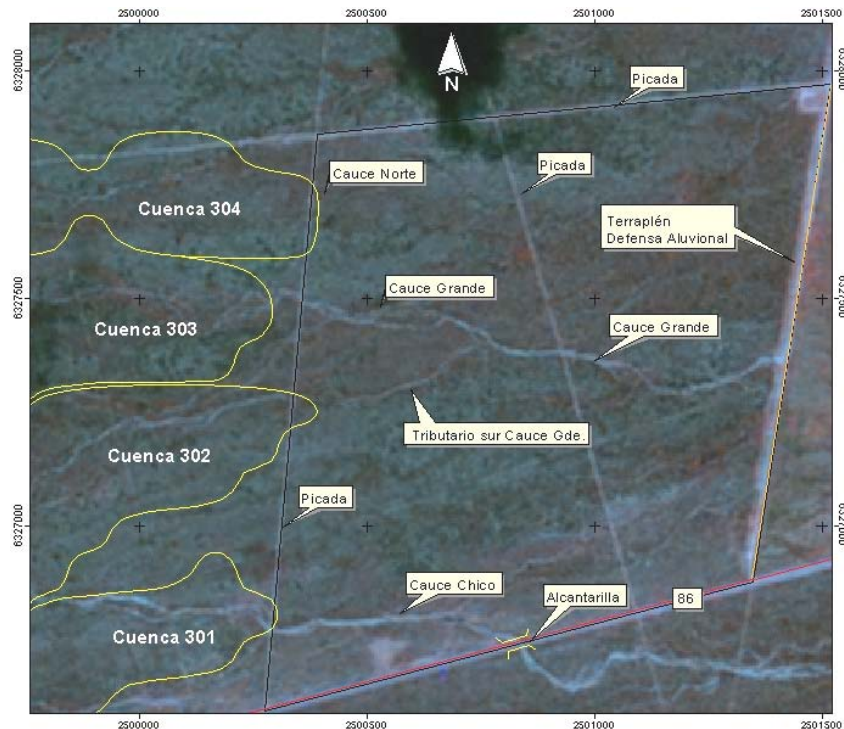


Figura 4.- Imagen satelital Ikonos

La modelación hidrológica se realizó utilizando el modelo ARHYMO. Arhymo es un modelo determinístico de parámetros concentrados que fue ampliamente utilizado en Argentina desde 1993 (Maza, J. et al., 1993). En este proyecto se hizo uso de la nueva versión en entorno Windows (Fornero, L. et al., 2002).

En la modelación hidrológica se presentan dos escenarios. El primero denominado Escenario I representa el sistema actual, donde se observan las 4 cuencas aluviales delimitadas y descriptas ya morfométricamente. El Escenario II supone una de las alternativas de solución.

En el Escenario I (Figura 5), el nodo N001 representa la sección transversal PF09 del cauce central en donde existe una intersección de cauces. Un cauce más al sur proveniente de la cuenca 302 empalma con el cauce grande (central) proveniente de la cuenca 303. El nodo N002 representa el desagüe final de la parcela coincidente con el zanjón aluvional con dirección oeste-este en la intersección con el alambrado de la finca vecina. Este zanjón recorre las fincas colindantes al este para luego desembocar en el A° Carrizal. El cauce norte recibe las aguas erogadas de la cuenca 304 y atraviesa la propiedad por un cauce pequeño pero bien definido hasta el terraplén oeste. La cuenca 301 que eroga hacia el cauce chico (sur) para luego atravesar la alcantarilla se mantiene igual en ambos escenarios.

El diagrama topológico del Escenario I está formado por las 4 cuencas aluvionales y como datos de entrada se utilizó la planilla de parámetros morfométricos (Tabla 2) y los hietogramas de precipitación de la tormenta de proyecto. En al Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación de ARHYMO.

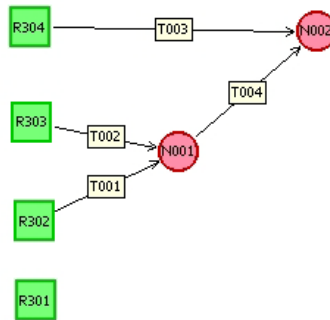


Figura 5.- Topología de cálculo en Arhymo. Escenario I

Tabla 3.- Resultados obtenidos Escenario I

Cuenca	Variable	TR=2 años	TR=5 años	TR=10 años	TR=25 años
301	Q [m³/s]	3.51	7.78	10.79	15.83
	tp [hs]	1.00	1.00	1.00	1.00
	V [Hm³]	0.014	0.031	0.043	0.063
	Ppe [mm]	5.5	12.2	17.0	25.1
	Pp tot [mm]	38.2	53.3	62.2	75.6
302	Q [m³/s]	3.73	9.07	12.93	19.59
	tp [hs]	1.17	1.17	1.17	1.08
	V [Hm³]	0.020	0.048	0.069	0.104
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2
303	Q [m³/s]	4.25	10.37	14.80	22.42
	tp [hs]	1.17	1.17	1.17	1.17
	V [Hm³]	0.024	0.058	0.083	0.126
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2
304	Q [m³/s]	3.69	8.98	12.82	19.46
	tp [hs]	1.17	1.08	1.08	1.08
	V [Hm³]	0.019	0.047	0.068	0.103
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2
Nodo 001	Q [m³/s]	7.98	19.45	27.73	41.99
	tp [hs]	1.17	1.17	1.17	1.17
	V [Hm³]	0.044	0.106	0.152	0.231
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2
Nodo 002	Q [m³/s]	11.67	28.42	40.51	61.33
	tp [hs]	1.17	1.17	1.17	1.17
	V [Hm³]	0.063	0.154	0.220	0.333
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2

El Escenario II representa una de las alternativas a proponer, en la cual se asume una unión de cuencas (302+303+304) escurriendo por un solo cauce central para descargar en el zanjón. La topología de cálculo se presenta en la figura 6.

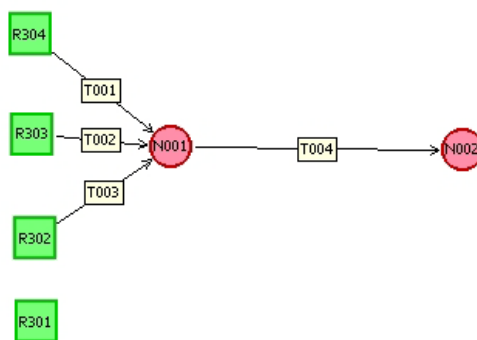


Figura 6.- Topología de cálculo en Arhymo. Escenario II

Los resultados de la modelación hidrológica se muestran en la tabla y figura siguientes:

Tabla 4.- Resultados obtenidos Escenario II

Cuenca	Variable	TR=2 años	TR=5 años	TR=10 años	TR=25 años
302+303+304= Nudo 002	Q [m³/s]	11.67	28.42	40.51	61.33
	tp [hs]	1.17	1.17	1.17	1.17
	V [Hm³]	0.063	0.154	0.220	0.333
	Ppe [mm]	3.3	8.1	11.6	17.6
	Pp tot [mm]	32.0	44.6	52.0	63.2

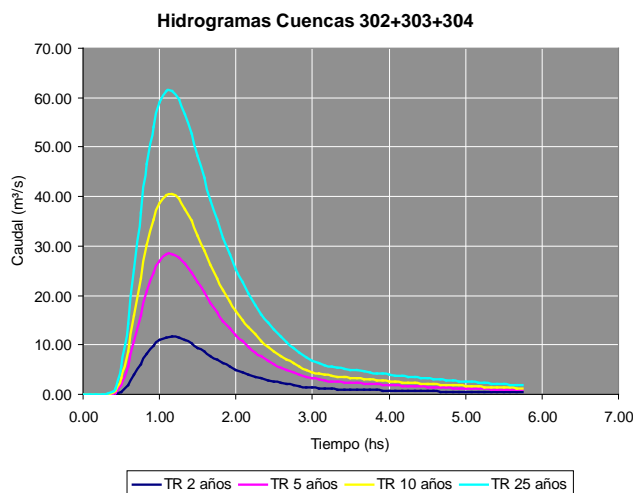


Figura 7.- Hidrogramas Nudo001. Escenario II

Con estos últimos resultados se conforma la entrada al modelo hidráulico, por lo que los caudales de la cuenca 301 escurrirán por las secciones transversales del cauce chico (sur) y los caudales del Nudo 001 escurrirán por el cauce grande (central).

Modelación Hidráulica

Para el entendimiento de la dinámica fluvial de los cauces aluvionales que cruzan la locación y con el objetivo de generar información básica para el diseño de obras de estabilización, control de torrentes y procesos de socavación, se llevó a cabo una modelación hidráulica- de flujos en cauces, utilizando el modelo unidimensional HEC-RAS (Hidrologic Engineering

Center – River Analysis System), con el cual se obtuvieron las líneas de inundación y perfiles de flujo de los torrentes bajo estudio.

A partir de los datos topográficos requeridos para este fin, y con la georreferenciación de los mismos se logró incorporar como datos de entrada al modelo, coordenadas Gauss Kruger de los puntos de las secciones transversales de los cauces, pudiendo luego exportar al SIG los resultados obtenidos.

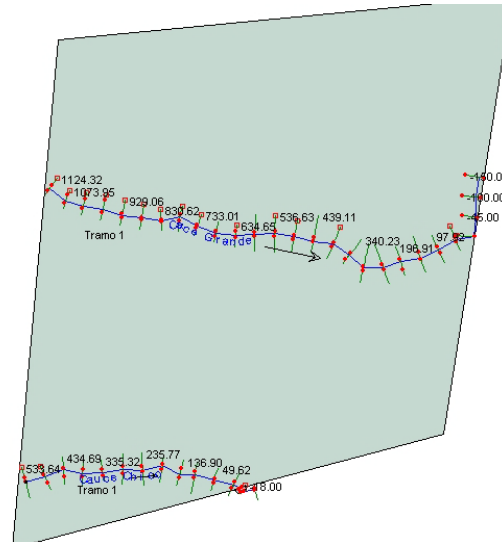


Figura 8.- Planimetría con ubicación de secciones transversales

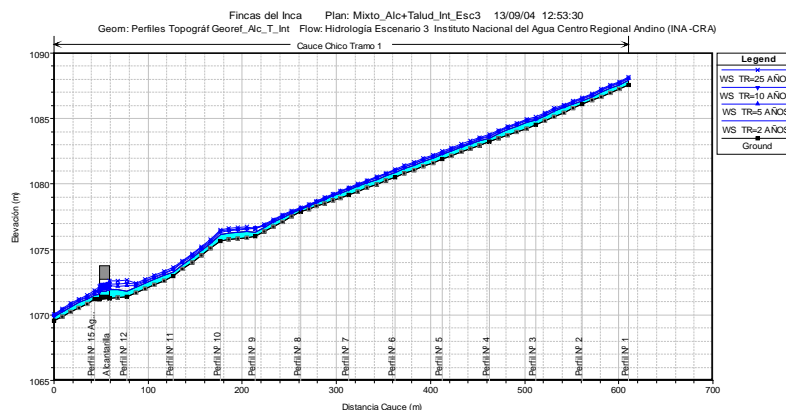


Figura 9.- Perfil Longitudinal Cauce Chico- TR=2,5,10 y 25 años

Planicies de Inundación

Las planicies de inundación, resultado de la modelación hidráulica de los cauces aluvionales que cruzan la propiedad, corresponden a los tirantes generados por tormentas con la recurrencia establecida (2, 5, 10 y 25 años), y poseen las siguientes características:

Tabla 5.- Planicies de inundación

Cauce	Recurrencia [años]	Area [Ha]	Ancho min. [m]	Ancho max. [m]	Ancho medio [m]
Grande	TR 2	2.81	8.8	37.0	20.3
	TR 5	4.25	13.7	70.4	32.2
	TR 10	5.15	17.3	83.7	39.9
	TR 25	6.49	21.6	97.7	51.1
Chico	TR 2	0.95	6.2	44.4	12.8
	TR 5	1.26	8.2	52.2	18.1
	TR 10	1.41	9.2	54.6	21.1
	TR 25	1.62	9.6	62.4	24.4

La distribución espacial de las planicies de inundación se presentan en la figura 10.

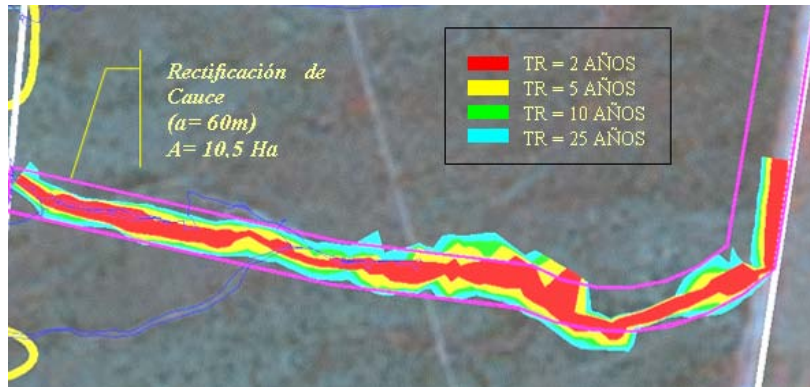


Figura 10.- Planicies de inundación para Cauce Grande

Erosión General

En el presente estudio se adoptó el criterio propuesto por Lischtvan y Lebediev modificado por Maza. La ecuación adoptada por este método, para establecer la velocidad de equilibrio en un lecho no cohesivo, hace que el cálculo sea tanto aplicable a situaciones de erosión con agua clara o con transporte generalizado. (Schreider et al, 2001)

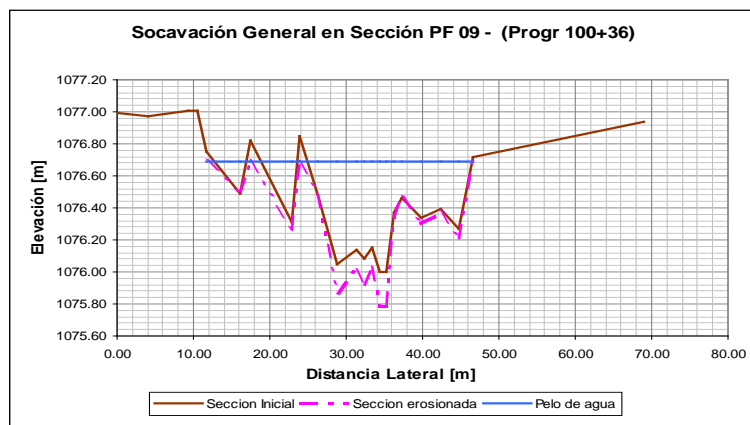


Figura 11.- Perfil Transversal Sección inicial y erosionada (PF09)

Diseño de nuevas secciones de cauces

Para la restricción al uso de la tierra, en este caso como límites de las parcelas de cultivo de vides, se tomó el ancho medio de la planicie de inundación de TR=25 años, con la incorporación de un coeficiente de seguridad (de aprox. 1.2), quedando un ancho de inundación de 60m para el cauce grande y de 30m para el chico.

Se analizaron varias alternativas, respecto al uso de gaviones, o de revestimiento en hormigón conformando una sección de menores dimensiones, pero se adoptó una sección triangular de taludes tendidos, debido a su fácil construcción y mantenimiento. Se estimó la geometría mínima necesaria para erogar los caudales de diseño, considerando que la sección de equilibrio a producirse luego de erosiones de fondo, no superara los umbrales establecidos.

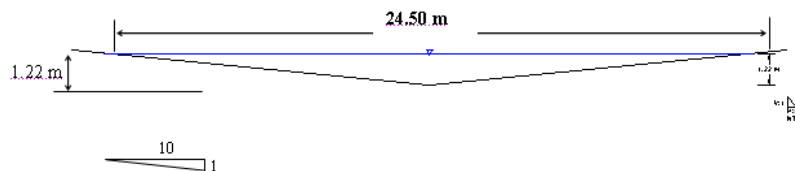


Figura 12.- Sección triangular mínima necesaria. Cauce Grande. TR=25 años

Las secciones realmente ejecutadas, por medio de las obras de encauzamiento de los torrentes analizados, incluyendo los caminos de servicio paralelos al cauce, son las siguientes:

Tabla 6.- Parámetros geométricos de canales apraderados

	Cauce Grande	Cauce Chico
Tipo	Triangular	Triangular
Talud	10:1	4:1
Ancho	60 m	30 m
Profundidad	2.60	1.15

CONCLUSIONES

Habiéndose estudiado las condiciones hidrológicas e hidráulicas de los torrentes que atraviesan la propiedad, se diseñaron las intervenciones necesarias.

El principal diseño consistió en un canal de tipo apraderado de sección triangular con taludes bien tendidos, de forma de evitar la socavación lateral, típica de cauces anastomosados. El mismo ha soportado hasta el momento dos tormentas con una recurrencia aproximada de 10 años sin consecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bessone J.L, Robles J.O.** (2004) “Hidrogeología del Valle del Carrizal” IT N° 17 – INA CRA
- Burgos, Victor** (2005) “Modelación Hidrológica de cuencas piedemontanas. Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial” *Congreso Nacional del Agua*, Mendoza, Argentina.
- Felícísimo, Ángel Manuel.** (1994) “Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales”. 220 p. Pentalfa Ediciones, Oviedo
- Fornero, Luis** et al (2002) “Actualización del modelo hidrológico ARHYMO”. Congreso Nacional del Agua, Carlos Paz, Córdoba,
- HEC-GeoHMS** Hydrologic Engineering Center Geospatial Hydrologic Modeling Extension, (2000) “*User’s Manual*” US Army Corps of Engineers .
- HEC RAS** River Analysis System Versión 3.1.2 “*User’s Manual*” US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.
- Martín Vide, J.P** (2003) *Ingeniería de ríos*. Edit. Alfaomega. Cap.3 y 4
- Mattos, Roger** (1999) *Pequeñas Obras Hidráulicas, Aplicación a Cuencas Andinas* <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/obrashidraul/>
- Maza, Jorge; L. Fornero; C. Litwin y P. Fernández.** (1993) , “ARHYMO. Manual del Usuario. INCyTH-CRA. Mendoza”
- Schreider** et al (2002) “Aplicación del método de Lischtván y Lebediev al cálculo de la erosión general” Universidad Nacional del Litoral.