



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CANTAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS

TRABAJO FINAL
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA AMENAZA HÍDRICA
EN EL COMPLEJO HABITACIONAL VALLE CHICO,
S.F.V.C.



JORGE L. PLAZA

AÑO 2017

DIRECTOR: LIC. ALFREDO MARCHIOLI
CO-DIRECTOR: DR. JORGE EREMCHUK

CONTENIDO

1	RESUMEN	- 5 -
2	INTRODUCCIÓN.....	- 6 -
3	HIPÓTESIS	- 7 -
4	ASPECTOS GENERALES	- 8 -
4.1	Objetivo General	- 8 -
4.2	Objetivos Específicos.....	- 8 -
4.3	Localización y vías accesos	- 8 -
4.4	Metodología Aplicada	- 9 -
4.5	Antecedentes de la problemática evaluada.....	- 11 -
4.5.1	Antecedentes de opinión General y Periodísticos	- 11 -
4.5.2	Antecedentes Técnicos	- 13 -
5	ASPECTOS FÍSICOS Y GEOGRÁFICOS.....	- 14 -
5.1	Caracterización Geológica.....	- 14 -
5.1.1	Estratigrafía	- 14 -
5.1.2	Geomorfología	- 17 -
5.2	Clima.....	- 20 -
5.3	Caracterización Fitogeografía.....	- 23 -
5.4	Hidrología e Hidrogeología.....	- 24 -
5.4.1	Profundidad del agua subterránea.....	- 25 -
5.4.2	Uso actual del agua	- 25 -
5.5	Edafología.....	- 26 -
5.5.1	Uso y Degradación de Suelos	- 26 -
5.6	Población.....	- 28 -
6	CARTOGRAFÍA DE BASE	- 29 -
6.1	Confección de Cartografía Base	- 29 -
6.1.1	Delimitación de subcuencas y obtención de red de drenaje	- 29 -
6.2	Consideraciones preliminares.....	- 31 -
7	RELEVAMIENTO DE CAMPO - REGISTRO FOTOGRÁFICO	- 33 -
7.1	Relevamiento posterior a precipitaciones intensas (13 de enero 2016).....	- 33 -
7.1.1	Registro Fotográfico.....	- 34 -
7.2	Relevamiento de obras pluviales	- 35 -
7.3	Relevamiento de cauces principales: subcuencas A y B.	- 38 -

8	CÁLCULOS DE CAUDALES POR OBSERVACIONES DE CAMPO SOBRE CAUCE A.....	- 42 -
8.1	Determinación de caudal por método expeditivo	- 42 -
8.1.1	Determinación de la sección	- 42 -
8.1.2	Determinación de la velocidad del flujo.....	- 43 -
8.1.3	Obtención del caudal a partir de la velocidad de flujo.	- 47 -
8.2	Estimación de la erosionabilidad del cauce	- 47 -
8.3	Estimación de caudal por método de altura del agua para alcantarillas de arroyo. Método Canadiense.	- 48 -
8.4	Registro fotográfico de las tareas desarrolladas.....	- 50 -
8.5	Consideraciones Preliminares.....	- 50 -
9	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	- 52 -
9.1	Obtención de los parámetros morfométricos.....	- 53 -
9.2	Hietogramas de precipitaciones extremas.....	- 55 -
9.3	Elección del número de curva	- 61 -
9.4	Modelo HEC-HMS.....	- 64 -
9.4.1	Esquema de la modelación:	- 64 -
9.4.2	Resultados HEC-HMS.....	- 65 -
9.5	Obtención de caudales picos empleando el Método de la Formula Racional	- 70 -
9.5.1	Elección del coeficiente de escorrentía "C"	- 71 -
9.6	Consideraciones preliminares.....	- 75 -
10	EVALUACIÓN CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LAS ALCANTARILLAS.....	- 75 -
10.1	Consideraciones preliminares.....	- 78 -
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 79 -
11.1	Plano de aéreas bajo amenaza hídrica.....	- 79 -
11.2	Conclusiones.....	- 79 -
11.3	Recomendaciones	- 81 -

ANEXOS.

Anexo I. Cartografía

Anexo II. Digital. Resultados HEC-HMS

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA AMENAZA HÍDRICA EN EL COMPLEJO HABITACIONAL VALLE CHICO, S.F.V.C.

TRABAJO FINAL

Jorge Plaza

DIRECTOR: Lic. Alfredo Marchioli

CO-DIRECTOR: Dr. Jorge Eremchuk

Licenciatura en Geología
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Catamarca
Año 2017

Este trabajo está dedicado a mi novia Natalia quien me apoyo y alentó en momentos complicados.

A mi madre Raquel, quien me dio mucho más de lo que le puedo devolver con palabras, Al igual que mi abuelita Juana. Simplemente $\frac{n}{0}$ gracias.

A mis hermanos, Emmanuel y especialmente Laura que fue una parte muy importante en este proceso.

A mis sobrinos, Roci, Vale, Benja y Mili.

A mis amigos Ariel y Gonzalo, siempre presentes.

A mis Tíos, especialmente Piru

Y a tres grandes hombres que ya no tengo la suerte de tenerlos a mi lado pero me enseñaron muchísimo y acompañaron siempre; Jorge A., Mario y Ramón Isidro.

1 RESUMEN

El presente Trabajo Final tiene como objetivo identificar las áreas potenciales de amenazas hídricas ante, eventos extraordinarios de precipitaciones, en la zona donde se construyen nuevas viviendas denominada Valle Chico, con el propósito de prevenir posibles daños en las obras civiles y garantizar la seguridad de los habitantes a través del análisis hidrológico de la zona, empleando herramientas informáticas, de teledetección y con el correspondiente control de campo.

La zona de estudio se localiza en el pie de monte distal de las sierras de Ambato sobre los márgenes occidentales del Río El Tala – Ongolí, entre las coordenadas Gauss Krüger Argentina (WSG84). 3516313.162, 6849016.565,2.572 y 3516313.162, 6845820.887,3.196.

La metodología aplicada al presente trabajo siguió un diseño cualitativo y cuantitativo obtenido a través de múltiples métodos, que incluyó: i) revisión bibliográfica sobre la temática, ii) relevamiento de campo en diferentes etapas donde se realizaron reconocimiento y control in situ, ii) relevamiento de cauces y obras hidráulicas. Toda esta información se procesó en gabinete mediante el empleo de diversos software, los cuales proporcionaron una gama amplia de aplicaciones y procesos que permitieron interpretar la hidrología de la zona de estudio y la hidráulica de las obras realizadas, mediante la modelización ajustada con criterios geológicos.

La zona estudiada, se encuentra sobre un área de drenaje fluvial, de tributarios del Río El Tala-Ongolí. A partir del análisis de los límites de las subcuencas delimitadas, se observa que dos cauces perennes que atraviesan las zonas donde se emplazan las viviendas y obras civiles de Valle Chico, lo cuales representan potencialmente las principales amenazas hídricas.

Luego de haber realizado los análisis hidrológicos e hidráulicos, se concluyó que las obras destinadas a la canalización de los cauces, han sido dimensionadas para un flujo libre de sólidos, no considera la carga del estrato vegetativo y material pétreo: rodados y sedimentos, situación validada por los antecedentes de desbordes de los cauces y anegamiento de las calles. De estos hallazgos surgen recomendaciones destinadas al redimensionamiento de las obras, mantenimiento periódico y limpieza de los cauces en las zonas intervenidas por la urbanización.

2 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y la necesidad de brindar soluciones habitacionales a la comunidad, en sectores cercanos a donde se desarrollan las principales actividades económicas de una región, lleva a desarrollar proyectos de urbanización en zonas que presentan potenciales amenazas naturales con consecuencias económicas y de afectación al hábitat de los residentes.

En su mayoría las amenazas naturales pueden identificarse y cuantificarse con precisión a partir de estudios geológicos, que permiten diagnosticar la posibilidad de ocurrencia, con precisión variable, según el grado de la complejidad de los factores condicionantes. Debido a ello, es muy importante el conocimiento de la existencia de amenazas naturales en un área, ya que si bien es difícil impedir que sucedan, siempre es factible realizar tareas de prevención y mitigación con el propósito de minimizar sus consecuencias.

El presente Trabajo Final se desarrolló con el objetivo de dar cumplimiento con lo establecido en la ordenanza N°002-2015, que estipula la normativa para el trabajo final exigido para la obtención del título de grado de la carrera Lic. En Geología.

Para este trabajo se definió como área de estudio principal al espacio de terreno destinado a las construcción de viviendas denominado primeramente como ciudad satélite y luego como Complejo Habitacional Valle Chico. A partir de este sector se demarcó una zona de influencia, la cual está representada por las diferentes sub-cuencas y micro-cuencas que aportan, como así también los elementos morfológicos del paisaje que puedan contribuir a la determinación de las zonas susceptibles de amenaza.

Teniendo en cuenta que Valle Chico se encuentra emplazado en el pie de monte, y que a priori, en la observación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se observa que es atravesada por diversos cauces afluentes al Río El Tala-Ongolí, el presente estudio está abocado solamente a la determinación de las zonas con amenaza hídrica, empleando una metodología mixta proveniente de modelos matemáticos existentes, validados mediante elementos hidromorfológicos, que permiten relacionar las precipitaciones y el escurrimiento superficial que deriva en crecidas ordinarias y extraordinarias acorde a las recurrencias de los eventos climáticos

3 HIPÓTESIS

La modificación de la morfología natural, a la hora de realizar grandes proyectos de urbanización, expone a amenazas geológicas a los habitantes de donde se constituyen las nuevas obras.

Los desbordes de los ríos en estas áreas conforman una de las expresiones más graves de las amenazas, sintetizando el impacto de la ocurrencia de fenómenos naturales como las precipitaciones intensas, en zonas de elevada carga antrópica, producto de las sucesivas intervenciones del hombre que entre otras cosas, que modifican notablemente los rasgos del sistema natural de escurrimiento.

Por ello el desarrollo del presente trabajo abordará las siguientes interrogantes:

¿El área donde se construyó la primera etapa del complejo Valle Chico se encuentra dentro de potenciales zonas de amenazas hídricas?

¿La modificación del relieve y su consecuente modificación del escurrimiento natural potencia las amenazas de desbordes de los colectores principales y/o secundarios?

¿Las obras de infraestructura ejecutadas en el área, sobre todo los sistemas de desagüe y alcantarillado, son suficientes para drenar los excedentes pluviales?

4 ASPECTOS GENERALES

4.1 Objetivo General

Identificar las áreas potenciales de amenazas hídricas ante eventos de precipitaciones extraordinarias en la zona de Valle Chico, con el empleo de software específicos e interpretación de imágenes satelitales

4.2 Objetivos Específicos

- i. Caracterizar morfométricamente las subcuencas tributarias al cauce principal del Río El Tala – Ongolí.
- ii. Definir la morfología fluvial mediante la interpretación fotogeológica de imágenes satelitales y procesamiento de modelos digitales del terreno.
- iii. Realizar la delimitación de las diferentes subcuencas tributarias al Río El Tala-Ongolí.
- iv. Determinar las zonas con potencial vulnerabilidad y representar su ubicación en cartografías temáticas.
- v. Recomendar las medidas de corrección, mitigación y/o prevención.

4.3 Localización y vías accesos



Figura 1: Imagen Satelital obtenida de Google Earth de la zona de estudio. Fecha de captura: Agosto de 2016.

La zona de estudio se localiza en el pie de monte distal de las sierras de Ambato sobre las márgenes occidentales del Río El Tala – Ongolí, entre las coordenadas Gauss Krüger Argentina (WSG84). 3516313.162, 6849016.565,2.572 y 3516313.162, 6845820.887,3.196 Faja 3 (Fig. 1).

A la zona de estudio se puede acceder desde el centro de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, por Avenida Cobacho hasta Avenida Los Minerales, en ella se toma hacia el Sur-Oeste hasta la primera rotonda donde se sigue con dirección Oeste por Avenida Sal Gema (Fig. 2).



Figura 2: Vías de Comunicación y acceso a la Zona de estudio.
Fuente: <https://www.openstreetmap.org>

4.4 Metodología Aplicada

La metodología aplicada al presente trabajo siguió un diseño cualitativo y cuantitativo que incluyó: i) revisión bibliográfica sobre la temática, ii) tareas de campo en diferentes etapas donde se realizaron visitas de reconocimiento inicial del terreno, relevamiento de cauces y obras hidráulicas. Toda esta información se procesó en gabinete mediante el empleo de diversos software, los cuales proporcionaron una gama amplia de aplicaciones y procesos que permitieron interpretar la hidrología de la zona de estudio y la hidráulica de las obras realizadas, mediante la modelización ajustada con criterios geológicos.

A continuación se presenta un esquema sintetizado de las diferentes implementada.

- a. Recopilación de antecedentes e información relevante. En esta etapa se recopiló la información disponible, antecedentes, cartografía, imágenes satelitales, modelos digitales del terreno, etc., la cual se incorporó en el software QGIS

- (Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre y sirvió de base para la generación de la cartografía realizada.
- b. Confección de Cartografía de Base. La confección de la cartografía base demandó la utilización de las siguientes fuentes y herramientas cartográficas, tanto digitales como en formato Papel:
- Hoja Geológica 2966-II-San Fernando del Valle de Catamarca.
 - Incluir la 14f - San Fernando del Valle de Catamarca
 - Imágenes Satelitales de distintos servidores libres como Bing Maps Aerial -ArcGIS , Google Landsat 8 OLI/TIRS, Google Earth
 - ETISIG Catamarca – Atlas Catamarca
 - SIG250 – IGN. Instituto Geográfico Nacional
 - MDE - ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model)
 - ANEXO VII SIG_Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín - Catamarca convenio INA - Gobierno de Catamarca, Mayo 2015
- c. Relevamiento de campo: En esta etapa se realizaron reconocimientos y control de in situ a los efectos de determinar potenciales zonas de mayor vulnerabilidad (amenazas) por el escurrimiento generado post eventos de precipitaciones extraordinarias, empleando GPS portátil Marca Garmin.
- d. Modelación hidrológica: Este trabajo se ejecutó, luego de identificar las zonas amenazadas, con el propósito de interpretar el comportamiento hidrológico de las sub-cuencas en eventos de precipitaciones extraordinarias. Esta tarea se realizó con el modelo matemático de simulación hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS), (Feldman, 2000) lo definió como un software de distribución libre y de amplia utilización internacional en el estudio de avenidas, el cual provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales
- e. Validación de los resultados de modelación HEC-HMS. Esta tarea se realizó con el empleo de la Fórmula Racional, la cual es utilizada para la estimación del caudal máximo asociado a una determinada lluvia, en el diseño de obras de drenaje urbano y rural.
- f. Determinación del comportamiento hidráulico de las obras emplazadas en el entorno de las zonas bajo amenaza hídrica. Esta tarea se llevó a cabo mediante el empleo de la Fórmula de Manning, la misma es empleada para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889, y ampliamente aceptada en la actualidad.

4.5 Antecedentes de la problemática evaluada

A continuación se presentan los antecedentes de la problemática evaluada, los mismos fueron discriminados en dos categorías.

4.5.1 Antecedentes de opinión General y Periodísticos

Octavio Gutiérrez defendió la “ciudad satélite”. (28 Agosto). (Fiambalá Digital, 2013)

El licenciado Luis Alberto Segura, técnico del departamento de Hidrología Superficial, realizó un informe en el que consta la cantidad de obras que serán necesarias para que el inmueble pueda certificarse como no inundable. Según consta en el informe que se agregó al expediente de la licitación, el terreno fue inspeccionado el 5 de junio, se encuentra ubicado en el sector oeste. Como límite este tiene al río Ongolí.

"En el terreno inspeccionado se ha detectado una decena de cursos superficiales que nacen en las serranías orientales bajas de La Quebrada, que drenan aguas de origen pluviales", indica en el diagnóstico.

En las sugerencias señala: "a) Desmontar el inmueble, nivelar y compactar el terreno. b) Aguas arriba, antes del ingreso de los cursos de agua superficial, obturar los mismos y desviarlos a otros cursos superficiales.

c) Es necesaria la elaboración y ejecución de un plan hidráulico integral de desagües pluviales (incluye estudios y obras) del área donde en el futuro se ubicarán 970 viviendas.

d) Es necesaria la elaboración y ejecución de accesos carreteros al nuevo barrio mediante obras viales como puentes que unan ambas márgenes del Ongolí", explica y agrega que el piso de las futuras viviendas debe construirse como mínimo 0,30 metros de la cota del suelo nivelado y compactado.

Catamarca superó el promedio anual de lluvias y se esperan más precipitaciones. (23 Diciembre) (La Unión Digital, 2013)

"Hay quienes las esperan con ansias y otros tratan de que no lleguen, y es que las lluvias siempre fueron beneficiosas para algunos y molestas para otros. Ya sea por la precaria situación de una vivienda que se inunda ante las fuertes precipitaciones perdiendo gran parte de sus pertenencias o los que ruegan por agua para aliviar los calores y llenar los embalses. Sin embargo, a pesar de los contrastes de realidades, las lluvias en este 2013 superaron el promedio anual y alcanzaron en su totalidad los 518.8 mm, a la espera aún de más lluvias para fines de diciembre, por lo que se podría alcanzar los 600 mm anuales.

Advierten sobre irregularidades y falencias de la Ciudad Satélite. (01 Noviembre). (El Ancasti Digital, 2015)

La pasada lluvia volvió a exponer las flaquezas del complejo habitacional que albergará 4 mil casas.



Ilustración 1: Tomada de www.elancati.com.ar. Realizada por Lic. Alfredo Marchioli.

A través de un informe, el geólogo Alfredo Marchioli realizó una serie de planteos y objeciones al proyecto urbanístico Ciudad Satélite, en el que se asienta el complejo habitacional que prevé albergar más de 4 mil viviendas.

Hay una infinidad de irregularidades sobre la aptitud, condiciones y pertinencia técnica del emplazamiento de este complejo habitacional. La más importante, quizás, asociada al reciente evento hidrológico, responde a que la aptitud de zona cuenta con observaciones por parte de la Dirección de Hidrología de la Provincia y,

por ende, no cuenta con el certificado de no inundabilidad. Y, consecuentemente, la Municipalidad de la Capital desaprobó la construcción de viviendas”, enfatizó Marchioli.

Marchioli indicó, además, que lo resuelto por los organismos oportunamente intervinientes –en el rechazo a la realización de la Ciudad Satélite- puede justificarse solo con observar la imagen satelital y predecir el comportamiento del río El Tala-Ongolí y sus afluentes. Estos últimos atraviesan los terrenos donde se emplaza el complejo habitacional. (Ver imagen con los cursos de agua marcados).

"Si bien el río que corre en dirección norte-sur -en la zona sujeta de análisis- en primera instancia no constituirá una amenaza de inundación sobre los terrenos ubicados sobre la margen Sur, pero como ha quedado demostrado, oficia de un obstáculo para la libre circulación de las personas y los servicios públicos de Salud, Defensa Civil, Bomberos y Seguridad. Con estas particularidades es evidente lo perspicaz y ocurrente nombre con el que se fecundó el proyecto: Ciudad Satélite”, subrayó.

El profesional también precisó que una situación muy diferente responde a los afluentes del río El Tala-Ongolí de sentido sureste, que atraviesan los terrenos donde se emplaza el complejo habitacional. "Constituyen una amenaza por corrientes torrenciales y procesos de avulsión (aluviones)", advirtió.

Lluvias intensas generaron crecida de ríos, desbordes y cortes de ruta en Catamarca. (08 Enero) (Telam, 2016)

"Asimismo, la crecida de río Ongolí originó otra vez dificultades para acceder o salir de la denominada Ciudad Satélite, ubicada en el sector sudoeste de San Fernando del Valle de Catamarca, donde no se concluyó el puente que está en ejecución y donde el caudal directamente impide el paso de los vehículos."

Alerta por crecidas de ríos de Catamarca tras lluvias intensas. (13 Enero 2) (Télam, 2016)

"El Río El Tala y el Río del Valle, aumentaron considerablemente su caudal, por lo que se advirtió a los pobladores que tienen sus viviendas en las adyacencias, mantenerse alejados de los márgenes de los mismos.

Además la crecida de río Ongolí originó nuevamente dificultades de acceso al barrio denominado Valle Chico, ubicado en el sector sudoeste de la capital catamarqueña, donde el ingreso al complejo habitacional está suspendido al tránsito vehicular."

Otra vez problemas por la lluvia en la Ciudad Satélite (23 Febrero) (El Ancasti Digital, 2016)

Las calles volvieron a parecerse a ríos, tras la lluvia de este mediodía. Además, los vecinos quedaron sin luz por problemas en el transformador.

La lluvia volvió a generar problemas en distintos puntos de la ciudad. Uno de ellos fue la Ciudad Satélite, donde los vecinos se vieron imposibilitados de transitar por las calles, que otra vez se parecieron a ríos. Además, aseguraron que la caída de un rayo generó que el transformador se quemara, por lo que quedaron sin el servicio de energía eléctrica.

"Una lluvia fuerte en la Sierra de Ambato, impactaría directamente en la Ciudad Satélite" (25 Febrero) (El Ancasti Digital, 2016)

(...) El geólogo Lorenzo Parra manifestó los problemas que presenta la Ciudad Satélite en cuanto a su ubicación. Además sostuvo que el puente de ingreso que se está construyendo es chico. (...)

El profesional agregó que la Ciudad Satélite tiene otro problema que ya fue planteado por un colega y que es la presencia de "un montón de cauces pequeños que bajan de la Sierra de Ambato que impactarían, en caso de una lluvia extraordinaria sobre la Sierra, directamente sobre el centro habitacional porque no tiene ningún tipo de defensa".

"Por la lluvia recién pudimos ir a dormir a las cinco de la mañana" (05 Marzo) (El Ancasti Digital, 2016)

Colapsaron los desagües y el agua invadió varias viviendas.

Vecinos de la Ciudad Satélite manifestaron nuevamente su malestar y temor por el ingreso de agua de lluvia a sus viviendas, por las ventanas y bajo la puerta, "y por el fuerte ruido de piedras y agua que venía de la loma, detrás de la avenida N°2".

La lluvia del jueves a la noche y madrugada del viernes mantuvo en vilo a muchos vecinos de este sector de la capital, a pesar de que, según datos de Defensa Civil, el agua caída habría sido de "poco más de 40 milímetros en aproximadamente 45 minutos".

Sin embargo, Dante Ceballos, supervisor del puente que se construye en la entrada a la Ciudad, sobre el río Ongolí, minimizó la situación y aseguró que "los vados y alcantarillas trabajaron de maravilla y no hay ningún peligro con los arroyitos que bajan de la loma, porque todos desembocan en las avenidas y los sistemas que fueron creados para tal fin".

En este sentido señaló que "los vecinos no deberían tener miedo por el agua que baja de las lomas, porque hay defensas que las encauzan en la dirección correcta".

Pero el agua de lluvia pasó por arriba de las alcantarillas y anegó parte de las avenidas de acceso a la Ciudad, arruinando calles de tierra y dejando sobre la carpeta asfáltica piedras, palos y basura.

4.5.2 Antecedentes Técnicos

Del anteproyecto de creación de Área de Reserva de usos Múltiples en el Río El Tala (seg/ ley 5.070) se puede leer lo siguiente:

.." El caudal máximo de crecida para el río El Tala, puede establecerse entre 300 y 350 m³/s en el kilómetro 4 (paraje Las Rejas), implicando este volumen de agua un serio peligro de desborde y destrucción de todo cuanto encuentra a su paso, incluidas las viviendas que se encuentran en sus márgenes...Un fenómeno de este tipo se produjo en **marzo de 1.999**, oportunidad en la que el agua llegó a socavar la estructura del puente carretero de Las Rejas, ruptura parcial de defensas hormigonadas, erosión de la margen izquierda, destrucción de alambradas perimetrales e incluso produjo daños significativos en lo que se conocía como un lugar de esparcimiento y confitería en 'Loma Cortada'."

(INA, 2015) Informe "Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos el Tala y Paclín- Catamarca".

Cabe mencionar con especial atención la situación del Río El Tala aguas abajo del puente Las Rejas, donde en la zona actualmente se encuentra en construcción una serie de barrios, cuyos desmontes y terraplenes cambiaron la topografía natural del lugar.

Como medidas no estructurales se proponen: Los mapas de Riesgos presentados, deben ser una herramienta fundamental para el Ordenamiento Territorial y deben entenderse como mapas dinámicos, por lo que se recomienda su actualización cada 5 años.

5 ASPECTOS FÍSICOS Y GEOGRÁFICOS

5.1 Caracterización Geológica

5.1.1 Estratigrafía

La estratigrafía que se detalla a continuación está basada en la descripción geológica de la Hoja 2966-II, San Fernando del Valle de Catamarca (Blasco, y otros, 1995) complementada con las interpretaciones realizadas por (Gonzales Bonorino, 1978) en la Hoja 14f San Fernando del Valle de Catamarca. Entre Paréntesis el número identificado en el cuadro Crono estratigráfico (Figura 3).

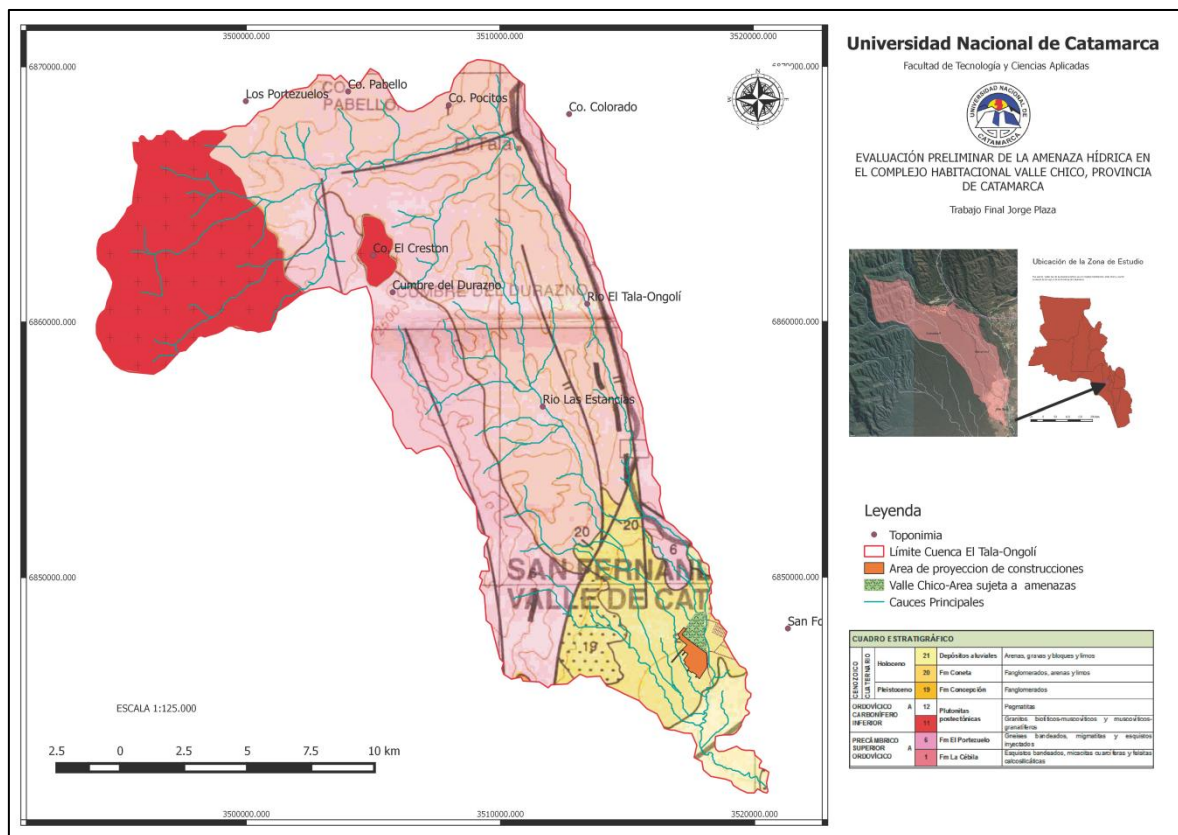


Figura 3. Geología del área de estudio y zonas de influencia. Fuente: Hojas Geológicas 2966-II y 14 f, San Fernando del Valle de Catamarca (Esc. 1:250.000), 1994. Para Mayor detalle consultar Anexo Cerografía.

CUADRO ESTRATIGRÁFICO					
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	21	Depósitos aluviales	Arenas, gravas y bloques, limos?
			20	Fm Coneta	Fanglomerados, arenas y limos
		Pleistoceno	19	Fm Concepción	Fanglomerados
	ORDOVÍCICO A CARBONÍFERO INFERIOR		12	Plutonitas postectónicas	Pegmatitas
		11	Granitos biotíticos-muscovíticos y muscovíticos-granatíferos***		
PRECÁMBRICO SUPERIOR A ORDOVÍCICO		6	Fm El Portezuelo	Gneises bandeados, migmatitas y esquistos inyectados**	
		1	Fm La Cébila	Esquistos bandeados, micacitas cuarcíferas y felsitas calcosilicáticas*	

Tabla 1. Cuadro estratigráfico confeccionado en base a la Hoja Geológica 2966-II San Fernando del Valle de Catamarca, 1994.

5.1.1.1 PRECÁMBRICO - PALEOZOICO INFERIOR

BASAMENTO METAMÓRFICO

FORMACIÓN LA CÉBILA (1) Esta unidad metamórfica constituida fundamentalmente por esquistos bandeados, micacitas cuarcíferas y felsitas calcosilicáticas, se extiende en la sierra de Ambato con rumbo general N-S, ocupando casi la totalidad de la cuenca del río El Tala. La característica principal de estos esquistos es el bandeamiento determinado por la alternancia de capas claras cuarzo-feldespáticas con capas oscuras biotíticas de potencias variables.

FORMACIÓN EL PORTEZUELO (6) Consiste en un complejo metamórfico-migmatítico que aflora en el flanco nororiental de las sierras de Ambato. Sus principales constituyentes son gneises granulados y gneises migmatíticos de textura bandeada o *lit-par-lit*, así como esquistos gnéisicos o micacitas gnéisicas de tipo venoso, compuestos por cuarzo, plagioclasa, biotita, sillimanita y/o cordierita.

Esta unidad corresponde a los “Esquistos inyectados y migmatitas” (Gonzalez Bonorino, 1978), formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli, 1971; Aceñolaza *et al.*, 1983) o miembro el Portezuelo de la formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli, 1981). Nullo (1981) incluyó estas rocas dentro de la formación Los Divisaderos, junto con los cuerpos leptos o postectónicos de composición granítica.

PLUTONITAS POSTECTÓNICAS. Las plutonitas postectónicas comprenden cuerpos intrusivos de contorno subelíptico a subcircular y diámetros de 1 a 2 km hasta dimensiones tipo stock, emplazados discordantemente en rocas esquistosas y gnéisicas en condiciones netamente postcinemáticas, sin producir ningún tipo de efecto migmatizante ni aureola térmica. Los contactos con la roca de caja (principalmente esquistos bandeados, esquistos micáceos y gneises) son netos y discordantes, típicos de una intrusión magmática postectónica. No se observan fenómenos térmicos ni penetraciones sálicas provenientes de las plutonitas, ni en los contactos con la caja ni en

los numerosos xenolitos esquistosos que estas incluyen. Por las relaciones entre los granitoides y su caja metamórfica, y por la gran cantidad de xenolitos incluidos, se trata de zonas marginales del plutón (techo o paredes).

Estos cuerpos han sido denominados por Gonzalez Bonorino (1978) “como cuerpos graníticos leptotectónicos”.

Granitos biotíticos-muscovíticos y muscovíticos-graníferos (11) Se presentan formando cuerpos netamente intrusivos de dimensiones variables, hasta el tamaño de stocks. Son rocas de color rosado a rojizo hasta gris claro, según su grado de alteración, y casi siempre inequigranulares, con variación del tamaño de grano desde fino hasta grueso y pegmatoideo. Son típicas las variedades porfiroideas en las que se destacan megacristales euedrales, prismáticos, de microclino de 2 a 3 cm. Son típicos granitos de dos micas, en general con ligero predominio de la biotita sobre la moscovita. En muchos casos contienen abundante xenolitos de rocas esquistosas de variadas dimensiones, algunos de ellos ligeramente orientados en los que no se observan fenómenos de reacción y sólo ocasionalmente penetración de aisladas venas y venillas graníticas.

En el área de estudio estos cuerpos constituyen los stocks graníticos del Co. El Crestón y los afloramientos de las altas cumbres del Ambato.

Pegmatitas (12) Cuerpos pegmatíticos tabulares o lenticulares se encuentran intruyendo a las metamorfitas y, en menor medida, a las rocas plutónicas, a las que se asocian como fase póstuma de la intrusión granítica. Son en su mayor parte cuerpos subparalelos concordantes con la estructura regional del basamento de la comarca, si bien en algunos casos son discordantes en otros alternan. Sus contactos con la roca de caja son por lo general netos, bien definidos, si bien en pocos casos son algo difusos y transicionales. En muchos casos suelen emitir apófisis y venas delgadas que inyectan a la roca de caja.

Desde el punto de vista petrográfico son pegmatitas simples, tanto en composición como en estructura interna, diferenciándose a los sumo unas pocas zonas (en general, marginal, externa y núcleo). Mineralógicamente las pegmatitas de las sierras de Ambato se caracterizan por su riqueza en moscovita.

En el área de estudio las pegmatitas intruyen las metamorfitas de las formaciones La Cébila y El Portezuelo. Las potencias más frecuentes varían de 2 a 10 m, con engrosamientos locales y longitudes de 100 a 200 m. La posición más corriente de estos cuerpos es subvertical o con altas inclinaciones.

5.1.1.2 CUATERNARIO

Pleistoceno

FORMACIÓN CONCEPCIÓN (19) Esta denominación fue propuesta por Fidalgo (1965; en Nullo, 1981) para referirse a los sedimentos agrupados en el Primer Nivel de Piedemonte. Los afloramientos de esta unidad se extienden al pie oriental de la sierra de Ambato, constituyendo retazos adosados al frente de montaña. Se trata de fanglomerados formados por rodados de tamaño grava mediana a gruesa, compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas.

Holoceno

FORMACIÓN CONETA (20): Se agrupan en esta denominación los sedimentos considerados como Segundo Nivel de Piedemonte, siguiendo a Nullo (1981). Se hallan más extendidos que los de la Formación Concepción, topográficamente a un nivel inferior, bordeando a la misma en los frentes de montaña. Litológicamente se trata de limos arenosos, limos e intercalaciones de fanglomerados; la estratificación es caótica y responde a flujos no encauzados.

Depósitos cuaternarios aluviales e indiferenciados (21)

Los depósitos aluviales se encuentran en la gran depresión tectónica del valle de Catamarca, y en la zona de estudio, en el curso del río Ongolí y sus afluentes. Litológicamente comprenden arenas finas a gruesas, gravas y rodados del tamaño de bloque.

5.1.2 Geomorfología

La depresión tectónica conocida como Valle Central, se encuentra flanqueada por las cadenas montañosas de Ancasti y Ambato; ambos los más importantes elementos orográficos de la región, que pertenecen a la unidad morfoestructural de las Sierras Pampeanas las cuales ocupan el centro y sur de la provincia; región geológica de gran importancia por su gran extensión e influencia ambiental.

En la ciudad de Catamarca – SFVC- , la pendiente varía notablemente, al pie del monte (más de 650 msnm) es de alrededor de 35°. Entre los 650 y 500 msnm oscila entre los 13° y los 4°. Desde los 500 msnm hasta el Río del Valle tiene un gradiente menor a los 4°, es decir que la pendiente es abrupta hacia el NO y suave hacia el SE. (Vigo, 2010)

El complejo habitacional Valle Chico se sitúa principalmente sobre abanicos aluviales, los cuales están compuesto por fanglomerados, aglomerados, arenas y limos, depositados a partir del quiebre de pendiente al salir de las quebradas el Río El Tala-Ongolí y sus afluentes. En este sector se observan numerosos cursos de escurrimiento secundario con rumbos aproximados NW-SE, que derivan hacia el colector principal, el cual se ubica en la margen Este de la zona donde se construyeron las viviendas.

Cada curso de río o arroyo forma un cono aluvial a su salida de la quebrada que se entremezclan en el piedemonte. Los depósitos tienen gran espesor en la depresión principal que nace con el hundimiento de las sierras centrales. Los límites entre ellos no son homogéneos ni precisos, en muchos casos es imposible distinguir entre los sedimentos aluviales del Valle, depósitos de pie de monte y sedimentos distales de cono de deyección. (Vigo, 2010)

El área de Influencia correspondiente a la sub-cuenca El Tala-Ongolí está representada principalmente por Basamento de edad Precámbrica, con bloques ascendidos a distintas alturas, debido a fallas que tienen rumbo aproximado N - S.

El curso de agua principal corresponde al Río El Tala, el cual nace en los cordones montañosos ubicados al Sur del cerro El Manchao en las Sierras de Ambato, y si dirige con rumbo Este aproximadamente 22 Km, hasta la quebrada denominada con la misma

designación (Km 22), donde gira hacia el Sureste, flanqueando por las cumbres de los Ángeles al Oeste y de Los Colorados al este, para llegar hasta la zona de Las Rejas donde adquiere el nombre de Río Ongolí hasta su confluencia con el Río del Valle.

Las unidades Geomorfológicas destacadas corresponden a:

Zona de Altas Cumbres: conformados por afloramiento de rocas metamórficas; presentan relieve accidentado a escarpado.

Se trata de bloques de montaña elevados por fallas inversas, de forma asimétrica. Son abruptas hacia el oeste y de pendiente suave hacia el este. Esta característica también influye en la disposición de las lluvias ya que actúan como barrera de los vientos húmedos que provienen del este producen precipitaciones del lado oriental y pasan secos hacia occidente. Estas forman pequeños cursos que bajan de las mismas de modo torrencial erosionando los suelos y descargando su material al fondo de los valles o al pie de ellas dando origen a abanicos y conos aluviales.

Abanicos fluviales: por lo general el relieve de estas es plano, de pendientes de 1 a 2%, se encuentran formados por sedimentos de diferente granulometría siendo los más abundantes fanglomerados y aglomerados, pertenecientes a las formaciones Coneta y Concepción.

Glacis de erosión: estos se localizan como relictos erosionados de la zona de altas cumbres.

En la siguiente Figura se presenta la Carta Geomorfológica Departamento Capital- de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. En la misma se trazaron los límites del área que comprende los lotes destinados a la construcción de Valle Chico.

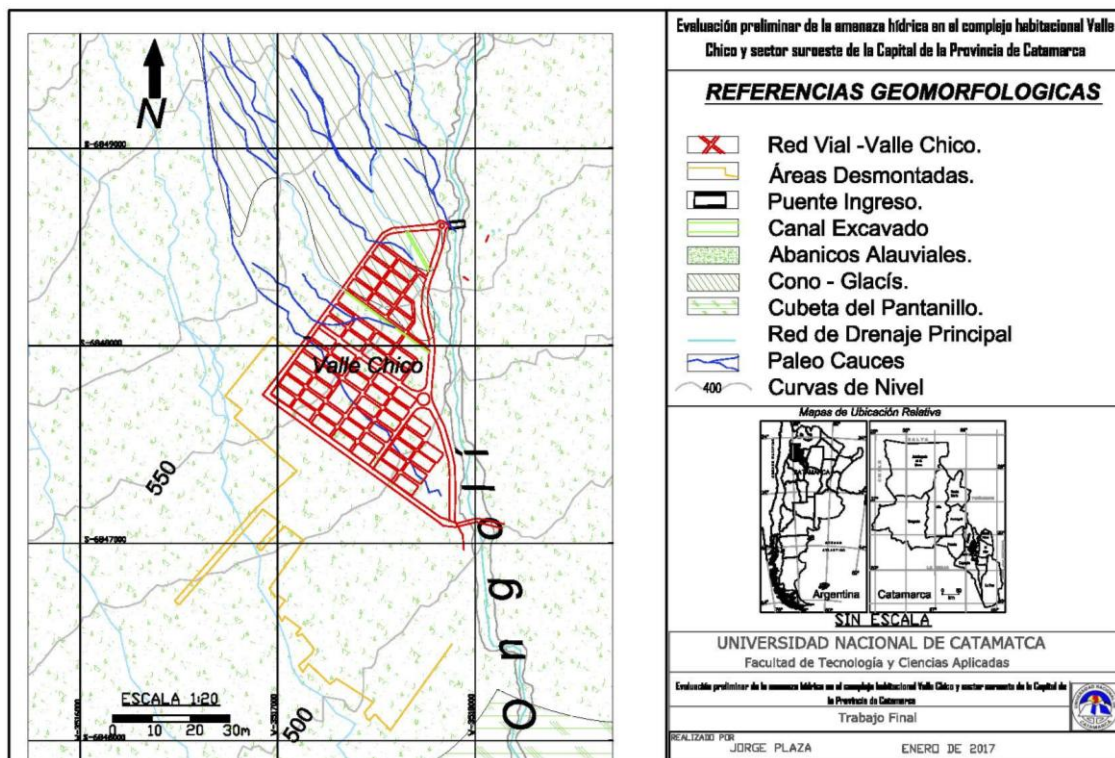


Figura 4. Mapa Geomorfológico zona Valle Chico, Adaptado desde Mapa Geomorfológico S.F.V. C (Eremchuk, 2008). Para Mayor detalle consultar Anexo Cerografía.

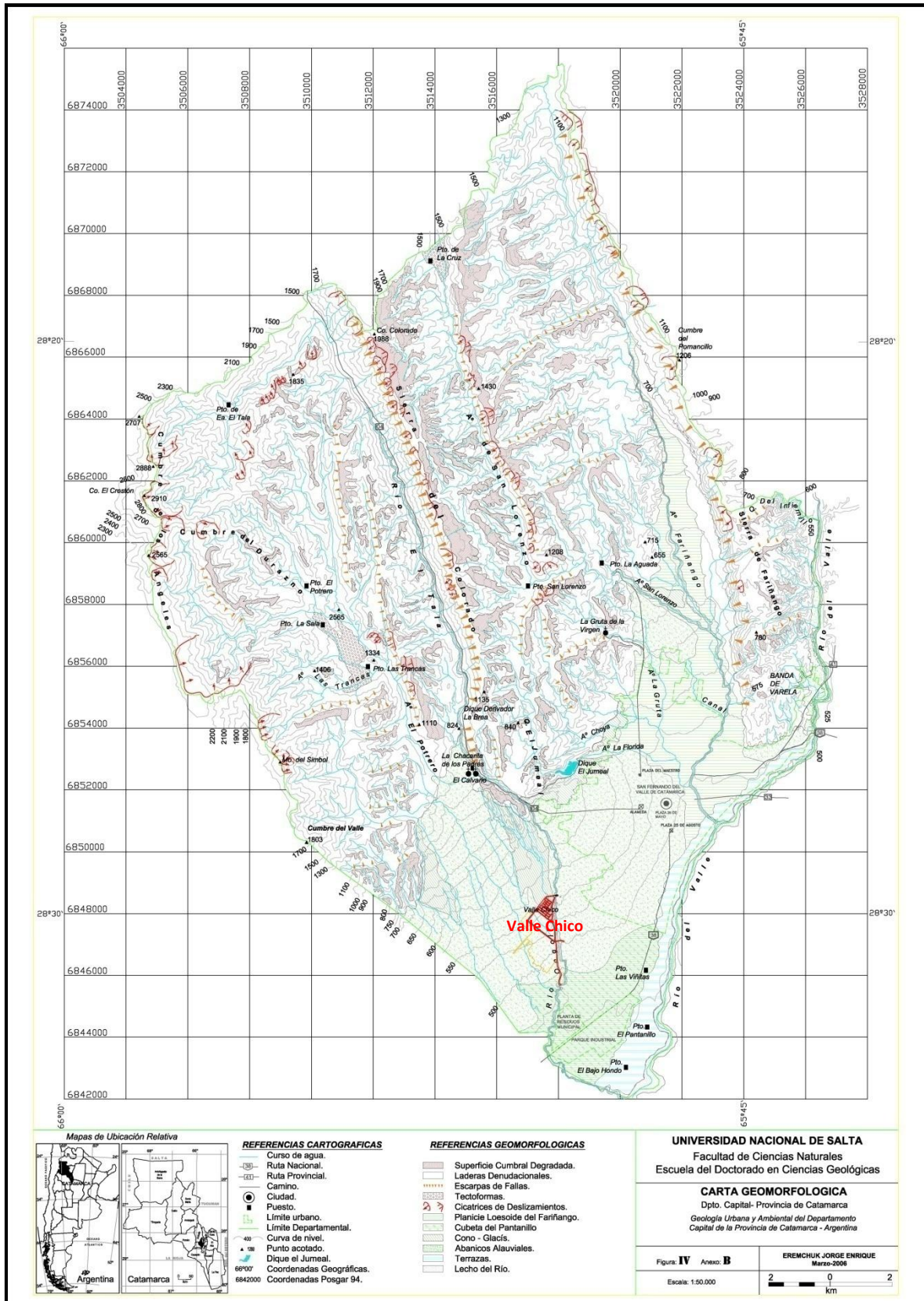


Figura 5. Mapa Geomorfológico de San Fernando del Valle de Catamarca (Eremchuk, 2008). Para Mayor detalle consultar Anexo Cerografía.

5.2 Clima

La zona de estudio y área de influencia, se ubican dentro de la Diagonal Árida Sudamericana. El clima de la Ciudad es el resultado de la latitud; continentalidad reflejada en el aire seco, con precipitaciones escasas de régimen pluvio-estival; influenciada por el relieve con orientación meridiana que a su vez generan microclimas, y presenta altos coeficientes de heliofanía, dentro de los más altos del país, (Navarro, 1993) tomado de (Eremchuk, 2000).

Considerando la clasificación de (Daus, García Gache, & Cantos, 1945) en la provincia de Catamarca (Fig. 5), el área de estudio se ubica dentro del clima *Árido de Sierras y Bolsones*.

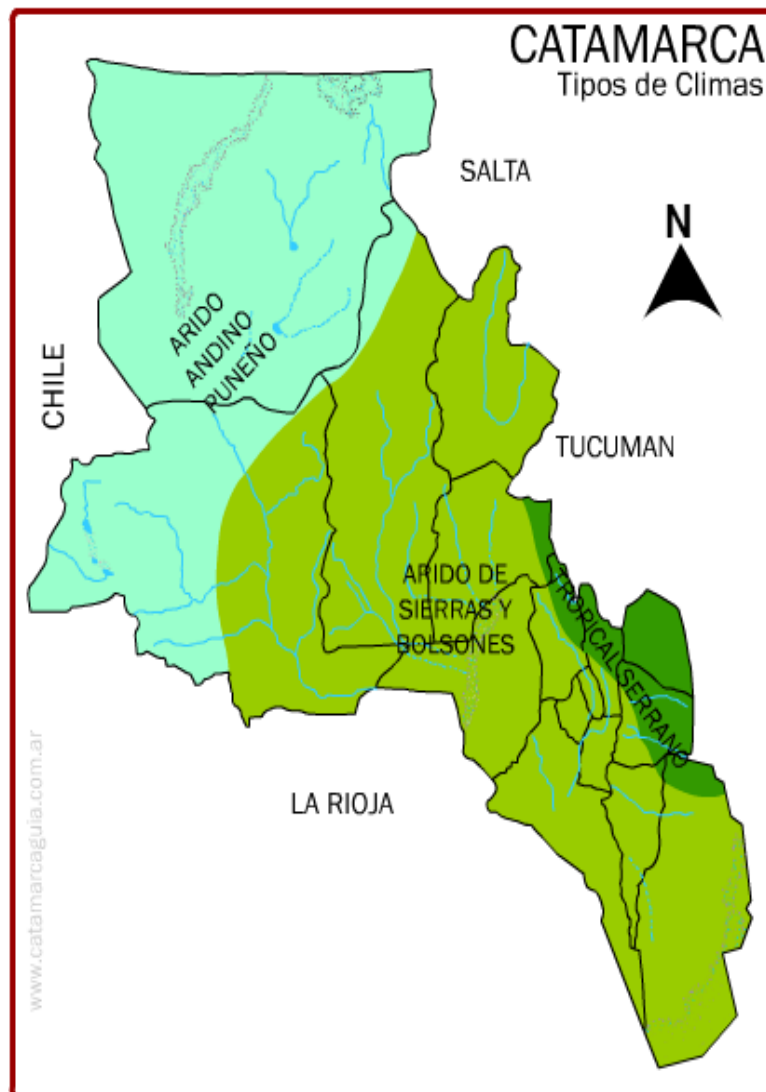


Figura 6. Clasificación climática según Daus y García Gache.

Fuente: www.catamarcaguia.com.ar

Los ríos enmarcados dentro de este clima descienden de las serranías y erosionan intensamente las laderas, producto de que la concentración de precipitaciones (de gran intensidad y corta duración) se da en los meses estivales. Los materiales transportados

son depositados en los fondos de valles o bolsones. El resto de los meses del año las precipitaciones son escasas.

Con los datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Servicio Meteorológico Urbano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Catamarca, se construyeron gráficos de dirección de los vientos para los períodos 1973/80 y 1999/05 que influyen en el área urbana (Fig. 6).

Los gráficos muestran para el período 73-80 (registros del antiguo Aeropuerto, en el sector N de la ciudad) los vientos de dirección NE son los más frecuentes y al pasar la ciudad cambian de dirección a N-S, debido al esquema damero N-S de las calles de la ciudad. La serie del 99-05 correspondiente al registro del Servicio Meteorológico Urbano, ubicado dentro de la mancha urbana, estaría reflejando estas orientaciones de los vientos al pasar por la ciudad.

Las horas de mayor velocidad del viento se registraron entre las 12 y 18 hs. La variación diaria de la velocidad del viento es similar a la temperatura. Durante la noche la velocidad del viento es pequeña (0 a 1 km/h), prevalecen las calmas, que se mantienen en general hasta las 8 hs, en especial en los meses de Junio, Julio y Agosto, aumentando desde la salida del sol hasta que alcanza valores máximos entre las 12 y 18 hs.

La velocidad del viento varía de 10 a 30 km/h en vientos del NE, los del S a SO no superan los 10 km/h, disminuye la intensidad hacia la madrugada.

La amplitud media diaria de la velocidad es igual a 10-15 km/h, la que varía según la estación del año (son más intensos en verano).

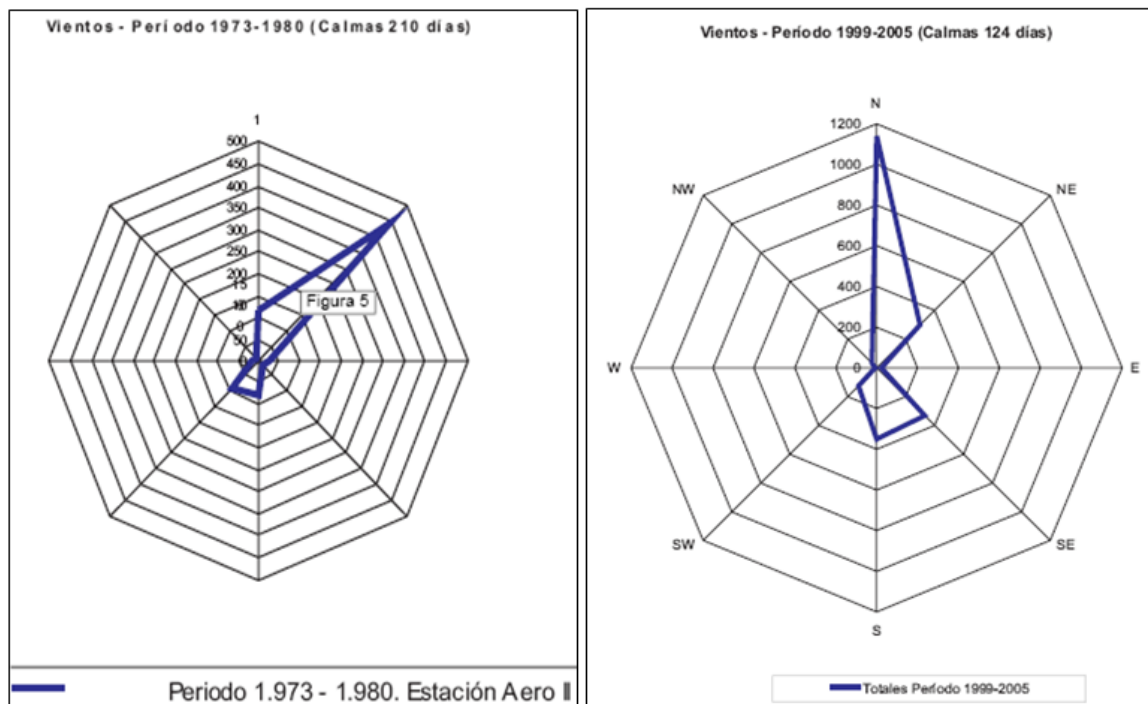


Figura 7: Roseta de los vientos

Según estudios de (Navarro, 1993) quien se basó en la clasificación de Dauss y García Gaché, la capital provincial se ubica en la región de Clima Árido de Sierras y Bolsones, donde los valores de precipitación son bajos en comparación con otras regiones del país.

El condicionante principal es el orográfico ya que por el O los vientos húmedos del océano Pacífico no pueden ingresar debido a la altura de la Cordillera de los Andes, y por otro lado, los vientos húmedos que ingresan del Pacífico van perdiendo humedad a medida que se acercan a la cordillera avanzando a través del continente. Su distribución está marcada en el periodo que comprende los meses de noviembre a marzo donde las lluvias son irregulares y con frecuencia torrenciales. La región presenta notables variaciones térmicas, donde las temperaturas en verano suelen pasar los 40 °C y en invierno rondan los 6 °C. La temperatura media anual en promedio es de 20,2 °C.

Con los datos históricos tomados del IIA realizado para el proyecto urbanístico la Estancita, aportados por el Servicio Meteorológico Urbano para los periodos 1973-90 y 1999-05 se realizaron climogramas (Figuras 7 y 8), en los cuales no se observan importantes variaciones de precipitaciones a lo largo de los años medidos. Con datos aportados por la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Departamento de Agua Superficial para los periodos 2007-12 se observa una importante disminución en las precipitaciones registradas en el Valle Central con respecto a las medias para los periodos anteriores. Tal es el caso que desde julio de 2007 a junio de 2008 se registró 520.9 mm, mientras que para los mismos meses en el periodo 2008-09 solo registraron 208 mm, al igual que para el 2011-12 solo 213,20 mm y 2012-13 168,80 mm.

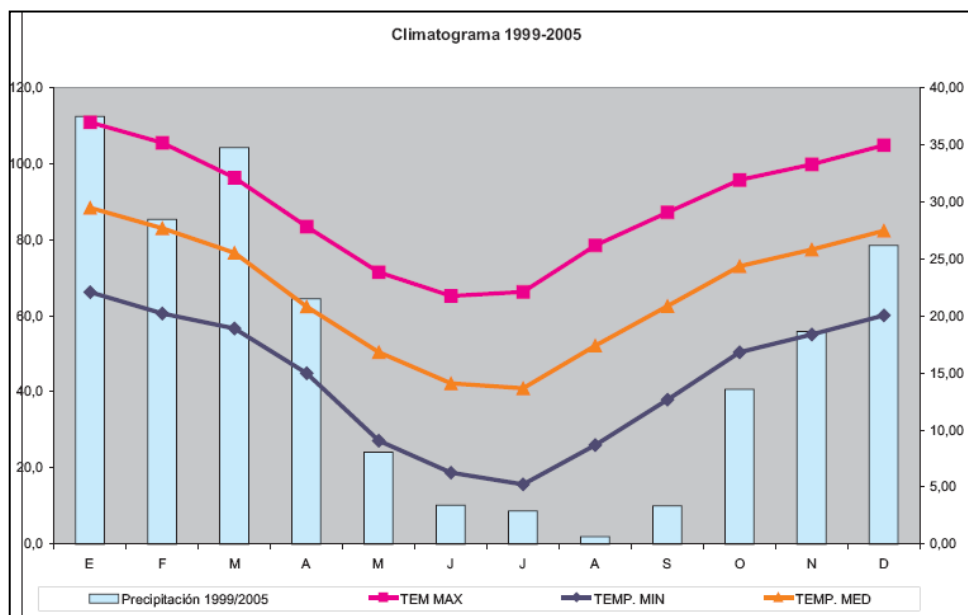


Figura 8: Climatogramas de la ciudad de Catamarca para los periodos 1972-1990. Fuente S.M.N.

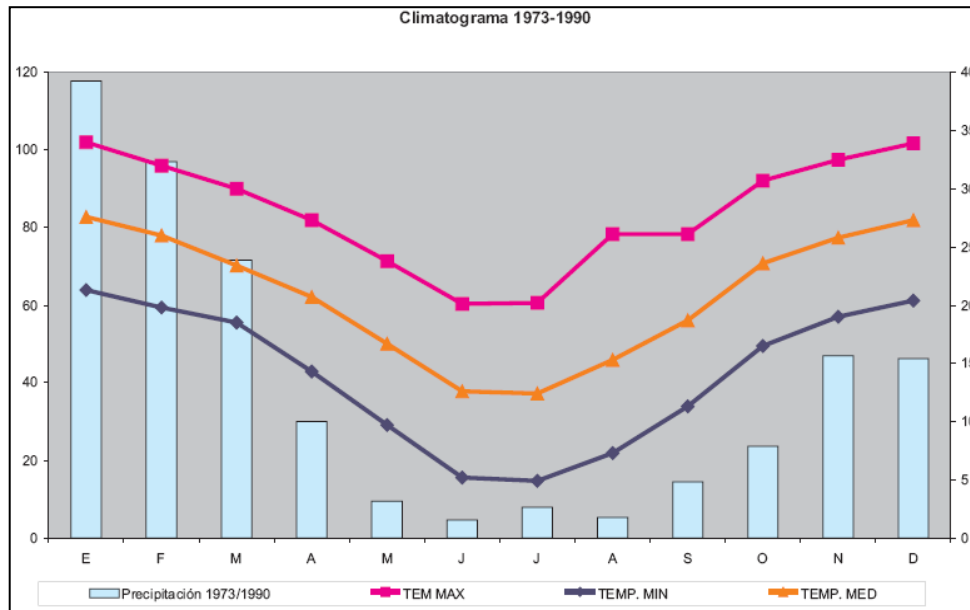


Figura 9: Climatograma de la ciudad de Catamarca para el periodo 1999-2005. Fuente S.M.N.

5.3 Caracterización Fitogeografía

Según la clasificación de (Cabrera, 1971; 1994) la zona de estudio se localiza dentro de la provincia Fitogeográfica Chaqueña, Distrito de Chaco Árido, y la cuenca El Tala-Ongoli, además en las zonas altas se presenta en el distrito Fitogeográfico Chaco serrano:

Distrito fitogeográfico Chaco árido

Este Distrito guarda estrecha relación con el Distrito fitogeográfico Chaqueño Occidental y el Distrito fitogeográfico Chaqueño Serrano, ambos de la misma Provincia fitogeográfica, son ellos los que lo reemplazan en sectores más húmedos septentrionales y a mayor altitud, respectivamente. El mismo se caracteriza por presentar serranías circundantes que le confiere características particulares respecto de sus ríos, sistemas de drenaje, vegetación, y clima. En este las fisonomías leñosas tienen una importante contribución de comunidades arbustivas. La adaptabilidad de su flora se encuentra altamente condicionada, tanto por la disponibilidad hídrica, restringida a los valles, como por la concentración de sales en los primeros horizontes edáficos.

La comunidad climática de este distrito es el bosque de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), acompañado por varias especies del género de los algarrobos, dependiendo de la posición en el mesorelieve. Los arbustos aquí ocupan un papel destacado, siendo en su mayor parte sumamente espinosos e intrincados. Respecto a los suelos, está representado Taxonómicamente, en un 40 % con Ardisoles. Junto a ellos se encuentran otros más jóvenes, del orden de los Entisoles, en especial Torriortentes en los llanos que unen el centro del Valle con el piedemonte serrano. Ya llegando al cordón se ubican Haplustoles con un horizonte superficial de origen orgánico. Igualmente el lavado de los carbonatos sólo se logra en la parte superior del perfil.

Los suelos se presentan profundos, texturalmente franco o franco limosos, loessoides, compuestos por materiales finos junto a arenas gruesas y gravillas, como resultado de los aportes eólicos, junto a los de origen aluvial y fluvial, vinculados al gran aporte de materiales provenientes de los sectores montañosos aledaños

Distrito fitogeográfico Chaco serrano

Este guarda estrecha relación con el distrito fitogeográfico chaqueño árido y chaqueño occidental, son ellos los que lo reemplazan en sectores a menor altitud, al occidente y al norte respectivamente. Los pisos altitudinales de mayor altura se relacionan con los bosques y pastizales.

Los suelos están representados en los cordones serranos más secos, siempre con afloramientos y pedregosidad superficial, se observan suelos "extragrados" líticos y para-líticos de los Ustortentes y de los Haplustoles, siendo más profundos o con tosca calcárea en algunos valles. También se encuentran suelos de zonas áridas: Aridisoles, Haplustoles torriorténticos, y Haplustoles arídicos; mientras que otros, los Calciustoles típicos, son ricos en carbonatos de calcio.

En los cordones serranos más húmedos, las formaciones rocosas están compuestas principalmente por granitos —rocas ígneas—, y rocas metamórficas entre las más comunes las migmatitas, esquistos, y los gneiss. Aquí los suelos son de escaso desarrollo, jóvenes, ubicados en el Orden taxonómico de los Entisoles, mayormente integrados por Ustortentes líticos y para-líticos; también Udoles serranos, destacando Hapludoles líticos y para-líticos. En algunos bordes se presentan suelos con rellenos sedimentarios de origen aluvial y coluvial, profundos y bien desarrollados, con alto contenido de materia orgánica.

5.4 Hidrología e Hidrogeología

Los ríos y arroyos más importantes que integran la red de drenaje del Valle Central de Catamarca son los siguientes: río El Tala – Ongolí, río del Valle, río Paclín y río San Pedro. Todos ellos desembocan en el colector principal que es el río del Valle, el cual posee un curso divagante en gran parte de su recorrido y se dirige de Norte a Sur hasta terminar en las Salinas Grandes, en el límite de las provincias de Catamarca y Córdoba.

El río El Tala – Ongolí es uno de los principales tributarios que aportan al colector principal y también al acuífero del Valle Central, al tiempo que suministra agua para consumo humano y abastece al dique El Jumeal en época estival durante las crecidas más importantes.

El acuífero está formado por dos grandes unidades hidrogeológicas, la superior: con depósitos sedimentarios no consolidados de arenas y gravas del cuaternario. Su límite superior es la superficie freática y el inferior definido por la diferencia granulométrica, en promedio mayor. La inferior: compuesta por depósitos sedimentarios terciarios con un notorio grado de diagénesis. Si bien aparecen algunos niveles de granulometría gruesa, el tamaño medio de sus granos es considerablemente menor.

5.4.1 Profundidad del agua subterránea

Estimaciones realizadas mediante prospección geoelectrica indican que el espesor promedio oscila entre 300 y 400 m. La infiltración desde los lechos de ríos y arroyos del faldeo oriental y norte de la sierra de Ambato, es la principal entrada de agua al sistema, el faldeo occidental de la sierra de Ancasti complementa con aportes de menor magnitud. (Vigo, 2010)

Los caudales de los pozos representativos para uso rural alcanzan los 100-150 m³/h. La profundidad en la mayoría de las perforaciones oscila alrededor de 120 m. Se estima que la recarga media anual del recurso subterráneo es de unos 140 Hm³/año. Considerando 16 perforaciones en operación y estimado en 75 m³/h al caudal medio aportado por cada una y que hay una pérdida del 15% debida a diversos factores, la extracción de agua subterránea para la provisión de agua potable a la ciudad SFVC es de unos 11 Hm³/año. Se prevé que en el año 2020 la demanda para consumo domiciliario será de 50 Hm³/año lo que requerirá un aporte del 65% de agua subterránea.

En el Valle Central, la Dirección de recursos Hídricos de la provincia el Instituto Nacional del Agua realizaron una serie de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), para inferir la posición del basamento cristalino que actúa de base para el acuífero y cuyo dato era necesario para definir la geometría del sistema acuífero. Se realizaron 48 SEV distribuidos en distintos sectores del Valle durante el mes de agosto de 2006. Paralelo a ello se realizó un censo de 303 puntos de toma de agua de los cuales 219 corresponden a pozos perforados, 69 pozos cavados y 15 que no se definieron. Con ello se realizó un mapa de isopiezas correspondiente al año 2006 en el cual se observa que el sentido de flujo es N-S hacia su nivel de base regional, las Salinas Grandes. En el sector N el gradiente Hidráulico es de 0.0048 y en la mitad S es de 0.0016, esta característica puede ser atribuida en primer lugar a un aumento de la sección de paso y a un aumento de valores de transmisividad del sistema acuífero. De esta manera se observa que el nivel freático varía desde menos de 5 m en las proximidades de la localidad de San Martín hasta más de 80 m en la margen occidental del Valle próximo a la Sierra de Ambato. Estos valores muestran con respecto al análisis de datos históricos desde el año 1964 al 2006, una tendencia al ascenso del nivel freático en el sector N y SE del Valle para los periodos 1971–2006 atribuido a un incremento en las precipitaciones y con ello las recargas al acuífero.

5.4.2 Uso actual del agua

El agua del río El Tala - Ongolí, es utilizada en su totalidad para **consumo humano**. La misma es captada a la altura de La Brea por un dique nivelador para abastecer el consumo de agua a una parte de la ciudad.

En épocas estivales, cuando se incrementan las precipitaciones especialmente en la zona alta del Ambato, se eleva el caudal de este río, el cual es enviado al embalse El Jumeal.

Una parte del agua que infiltra al producirse el quiebre de pendiente y cambiar bruscamente el gradiente, pasa a tributar al acuífero del Valle Central.

5.5 Edafología

Los suelos en el área de estudio, comprenden conos de deyección, flanglomerados de pie de monte y detritos de falda. Los sedimentos han sido depositados por el río Tala - Ongolí, y los arroyos que bajan entre las sierras. Cada curso de río o arroyo forma un cono aluvial a su salida de la quebrada que se entremezclan en el pie de monte.

Los depósitos tienen gran espesor en la depresión principal que nace con el hundimiento de las sierras centrales. Los límites entre ellos no son homogéneos ni precisos, en muchos casos es imposible distinguir entre los sedimentos aluviales del Valle, depósitos de pie de monte y sedimentos distales de cono de deyección. El material erosionado, transportado por los cursos de agua aumenta en cantidad de acumulación a medida que la pendiente disminuye, aguas abajo se reduce el tamaño del particulado, las grandes piedras pasan a entremezclarse con la grava y los cantos rodados. Cuando el Valle se amplía y disminuye la pendiente se encuentra arena y tierra, en la orilla del río del Valle se hallan loess. (Vigo, 2010)

Los suelos reconocidos en la provincia de Catamarca, fueron definidos en 6 Órdenes, 13 Subordenes, 23 Grandes Grupos y 39 Subgrupos (Vargas Gil, 1990, en M).

Sin embargo Cruzate et. al. (2011) agruparon los principales suelos en 5 órdenes; actualizándose la clasificación taxonómica.

Según la mencionada clasificación, los suelos presentes en el área de estudio responden al orden de los Entisoles. (Rodríguez, 2012)

Tabla 2: Clasificación Taxonómica de los Suelos de Catamarca

Taxonomía de los Suelos de Catamarca y Características del Paisaje		
Orden	Principales Suelos	Características del Paisaje
Entisoles	Ustifluventes Típicos	Piedemonte en tierras bajas e intermedias, vías de escurrimiento y planos aluviales

Entisoles: Son los que poseen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos, en general tienen un horizonte superficial claro, de poco espesor y contenido de materia orgánica escasa. Estos suelos pueden presentarse en ambientes de distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, material parental y edad.

5.5.1 Uso y Degradación de Suelos

En el avance urbano la extracción de áridos es el principal uso de suelo en la zona de estudio, pozos dejados por extracción de áridos son visibles en sobre el lecho ordinario del Río el Tala. Además el proyecto Valle chico cuenta con canteras de extracción de áridos en las inmediaciones del barrio, sobre el propio cono de deyección dejado por los tributarios al cauce principal.

Los procesos de degradación ambiental son consecuencia de la interacción de la acción antrópica, el clima, la morfología y suelos con elevada erodabilidad. (Báez, Eremchuk, & Ojeda, 1999)

En la siguiente se consignan las principales causas y efectos de los procesos de degradación por cada unidad geomorfológica tomada de (Vigo, 2010). En rojo los procesos y efectos que actúan en el área de estudio según el autor antes mencionado.

Tabla 3: causas y efectos de los procesos de degradación que actúan en la zona de estudio, (Báez, Eremchuk, & Ojeda, 1999) (extraído de Vigo, 2010)

CAUSAS	A	Pa	Pb	B	Ea	Eb	S	C
Meteorización física	X							
Erosión hídrica	X	X	X	X				
Deforestación	X	X	X	X	X			
Sobrepastoreo	X							
Incendios	X							
Suelos regosólicos, litosólicos y loésicos								
Explotación de áridos		X	X			Xa	X	X
Suelos arídicos				X				
Erosión eólica				X				
Inundación (ascenso del nivel freático)					X			
Vertido de efluentes domiciliarios e industriales					X	X		
Procesos degradatorios en la cuenca alta							Xb	
Suelos de muy baja calidad físico –mecánicas								X
Depresión								X
EFECTOS								
Aumento del escurrimiento superficial	X	X						
Capacidad erosiva para precipitaciones normales	X	X						
Intensificación de la remoción en masa de escombros y materiales desagregados	X							
Barrido de márgenes de cauces		X						
Alteración del canal de escurrimiento		X						
Pérdida de cubierta vegetal		X						
Modificaciones locales del terreno (depresiones)		X						
Colmatación de depresiones o colectores		X		X				
Anegamientos		X	Xc		X	X		
Erosión hídrica laminar y erosión hídrica lateral en cauces colectores locales			X	Xc	X			
Incremento del material transportado			X					
Salinización del suelo					X	X		
Deterioro de infraestructura					X	X		
Contaminación química y bacteriológica de aguas subterráneas					X	X		
Deterioro de Márgenes				X		X	X	
Alteración del canal del río						X		
Contaminación bacteriológica del agua superficial				X		X	X	X
Colmatación de cauces							X	
Derrames e inundación mantiforme							X	

Ref.: A: Relieve Montañoso/ P: Sistema Pedemontano del Ambato. / B: Sistema fluvial del arroyo Fariñango E: Sistema fluvial del Río del Valle, Ea (Terrazas) y Eb (Cauce) / S: Abanico terminal del río El Tala / C. Cubeta del Pantanillo. a: Gravas y finos b: Problema grave por intervención antrópica c: En sectores distales, d: En láminas, surcos y cárcavas.

5.6 Población

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar las zonas de amenaza hídrica en la construcción de Valle Chico, estas viviendas resultan de la demanda ocasionada por el aumento de la población, por ello es importante conocer el crecimiento del mismo, en particular el departamento Capital.

En la siguiente tabla se puede observar el incremento producido según Censo 2010.

Tabla 4: Provincia de Catamarca. Habitantes por departamento. Año 2001-2010

Departamento	2001	2010
Capital	141.260	159.703

La población de la provincia de Catamarca, según el censo 2001** asciende a 335.859 habitantes, en el censo 2010 suma un total de 367.828 habitantes en todo el territorio. El 61,94% de la misma se concentra en localidades de más de 2.000 habitantes y un 41,7% lo hace en la Capital. La variación absoluta de la población fue de 33.260 habitantes, lo que representa una variación relativa del 9,9 %.

** Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001- 2010.

6 CARTOGRAFÍA DE BASE

6.1 Confección de Cartografía Base

La confección de la cartografía base demandó la utilización de las siguientes fuentes y herramientas cartográficas, tanto digitales como en formato Papel:

- Hoja Geológica 2966-II- San Fernando del Valle de Catamarca.
- Hoja Geologica 14f San Fernando del Valle de Catamarca
- Imágenes Satelitales de distintos servidores libres como Bing Maps Aerial - ArcGIS, Google Landsat 8 OLI/TIRS, Google Earth.
- ETISIG Catamarca – Atlas Catamarca
- SIG250 – IGN. Instituto Geográfico Nacional
- MDE - ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model)
- ANEXO VII SIG_Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín - Catamarca convenio Instituto Nacional del Agua (INA) - Gobierno de Catamarca, Mayo 2015

La cartografía empleada en este trabajo, se referenció a POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas año 1994) Elipsoide de referencia WGS 84, sistema de proyección Gauss Krüger Argentina, Faja 3.

La cartografía disponible se cargó al software QGIS 2.8.3, para trabajar en un sistema de información geográfica y emplear el conjunto de herramientas que integran y relacionan diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, análisis y modelización de los datos.

Es importante aclarar que no fue posible acceder a cartografía y/o información por parte de los organismos competentes y responsables de la construcción de Valle Chico.

6.1.1 Delimitación de subcuencas y obtención de red de drenaje

Luego de haber introducido la cartografía disponible del área de estudio en el Sistema de Información Geográfica (SIG), se procedió a trabajar en la obtención de los límites de las subcuencas que configuran la cuenca grande El Tala-Ongolí a partir de un MDE (Modelo Digital de Elevaciones) y procesamientos informáticos integrados en el Software citado.

La obtención de las subcuencas y la red de drenaje, se realizó siguiendo los lineamientos recomendados por (O'Callaghan & Mark, 1984), para identificación de cuencas a través de procesos informáticos. Mencionados lineamientos se indican a continuación:

- 1.- Relleno de huecos del MDE y cálculo de la matriz de dirección de drenaje (Validación del MDE).
- 2.- Cálculo de la matriz de acumulación.
- 3.- Definición de la red de drenaje mediante pixeles que exceden un área umbral acumulada predefinida.

A los efectos de seguir la metodología planteada se realizaron las siguientes tareas:

a. Validación Hidrológica del MDE

Para este trabajo el modelo digital de elevación elegido es el AsterGDEM, (ASTER Global Digital Elevation Model), el mismo es un modelo global creado a partir de casi 1,3 millones de imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

Este radiómetro es uno de los cinco instrumentos de observación de la Tierra que viajan a bordo del satélite americano Terra, lanzado en diciembre de 1999. ASTER recoge las imágenes del espectro visible y también las regiones de longitud de onda de las radiaciones térmicas infrarrojas, con resoluciones espaciales que van desde unos 15 a 90 metros. Este modelo digital de elevación es de distribución libre y gratuita.

Un MDE, al igual que con cualquier otra variable espacial interpolada, requiere de validación tras su obtención, su calidad estriba en el tipo y magnitud de los errores cometidos cuya aparición es inevitable ya que se trata de un modelo, por tanto de precisión limitada pero aceptable para los objetivos específicos propuesto en este trabajo.

En este trabajo la validación del MDE se realizó mediante dos procesos:

- El primero consistió en superponer el MDE, con la cartografía existente de la zona, además de realizar visualizaciones en 3D, a los efectos de descubrir alguna anomalía para corregirlo.
- El segundo método aplicado se basó en empleo de las herramientas de GRASS (Algoritmo FILL) contenidas en la interfaz de QGIS, con lo cual se realizó el relleno de depresiones o puntos sobre el DEM donde no hay información certera. Este algoritmo rellena las depresiones cruzando la capa ráster de lado a lado. Luego el algoritmo identifica la dirección de flujo única para cada celda. Si el programa detecta áreas con depresiones delinea esta zona del resto del área y rellena nuevamente las depresiones usando la técnica de interpolación de los puntos más próximos usada por la rutina de dirección de flujo incorporada en las herramientas de GRASS.

b. Cálculo de la matriz de acumulación y definición de la red de drenaje.

Una red de drenaje es el sistema jerarquizado de cauces, desde pequeños surcos hasta ríos, que confluyen en otro que configura el colector principal de toda una cuenca. Su función es el transporte de flujo, materia y energía en el interior de la cuenca. Desde el punto de vista del análisis gráfico, una red de drenaje es un árbol que nace en las zonas altas del terreno y en el que la raíz de la misma es el punto de desagüe o punto más bajo de la cuenca. La digitalización manual de la red de drenaje es una tarea subjetiva, sobre todo para cuencas de gran tamaño (mayores de 10 Km²) [(Jenson y Domingue, 1988; Mark, 1984; Moore et al, 1991; Martz y Garbrecht, 1992) Tomado de (Maidment & Djokic, 2000)]. La automatización de la segmentación de la cuenca, extracción de la red de drenaje y propiedades de las subcuencas, procedentes de los datos de elevación, representa una gran ventaja ya que es una forma rápida de parametrizar la cuenca, siempre y cuando contenga criterio geológico a través de su validación procedente de la fotointerpretación y control de campo.

La delimitación de las subcuencas y obtención de red de drenaje se realizó empleando las herramientas hidrológicas de GRASS 6.4.4 como complemento de QGIS Wien 2.8.3.

La extracción automática tradicional de formas de drenaje desde los MDE se basa en la identificación y delimitación del drenaje, y segmentación de la cuenca (Band, 1986; Jenson y Domingue, 1988; Martz and Garbrecht, 1992; Wolock and Mc Cabe, 1995; Tarboton et al., 1991; en (Martinez Mechon & Alonso Sarría, 2003), mediante algoritmos desarrollados en programas de computadoras basados en las diferentes propiedades y teorías hidrogeológicas.

Como resultado de las tareas realizadas se delimitó la cuenca principal del río El Tala, con sus respectivas subcuencas (Fig. 9). En Anexo 1: Cartografía, se puede apreciar el mapa a escala.

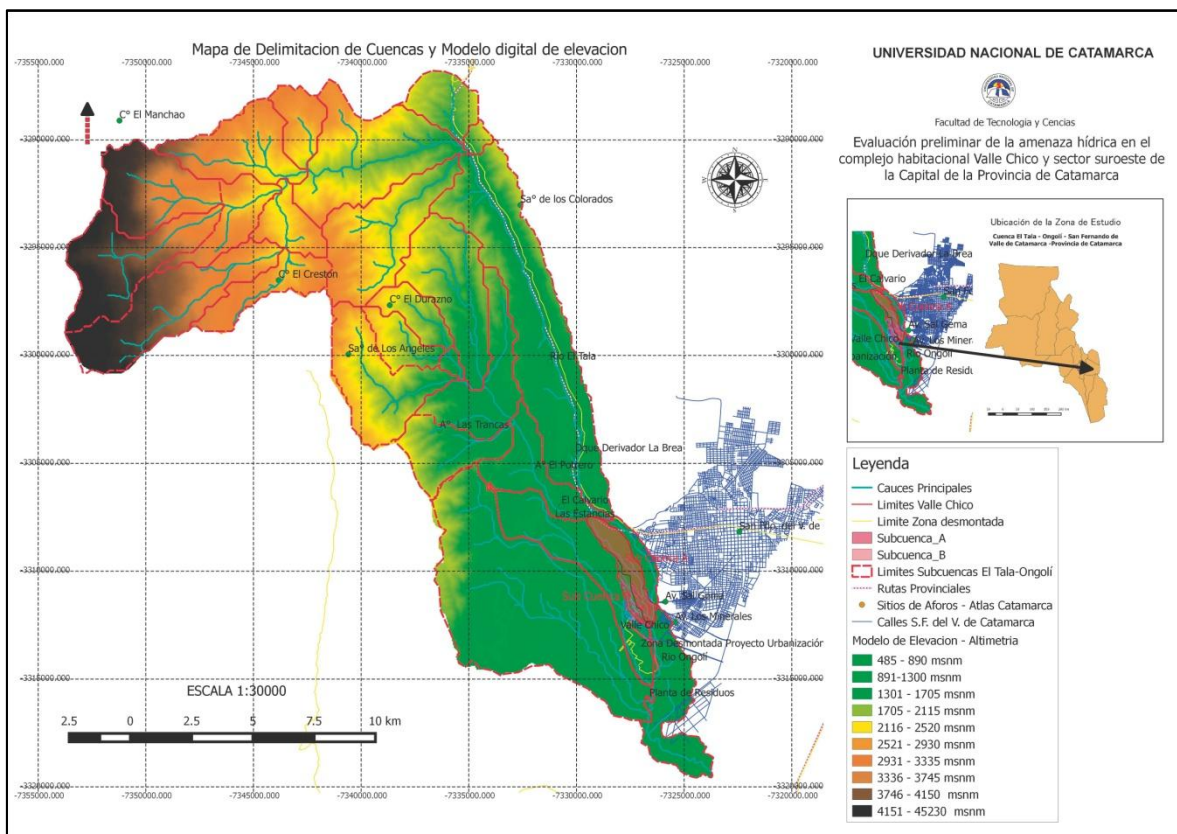


Figura 10: Mapa de la cuenca El Tala, con sus respectivas subcuencas. Para mayor detalle consultar Anexo I Cartografía

6.2 Consideraciones preliminares

El área donde se construyeron las viviendas de Valle Chico, corresponde a una zona pedemontana caracterizada por la desembocadura de torrentes producto del drenaje fluvial de subcuencas tributarias del río El Tala-Ongolí.

A partir del análisis de las subcuencas observadas en la figura anterior, en el área de estudio se identifican dos subcuencas que, sus cursos principales, atraviesan el terreno donde se desarrolla el barrio urbano de Valle Chico, las que han sido identificadas como A y B las mismas pueden observarse en las figura 10 con la altimetría de la cuenca y figura 11 con la imagen satelital del área de estudio.

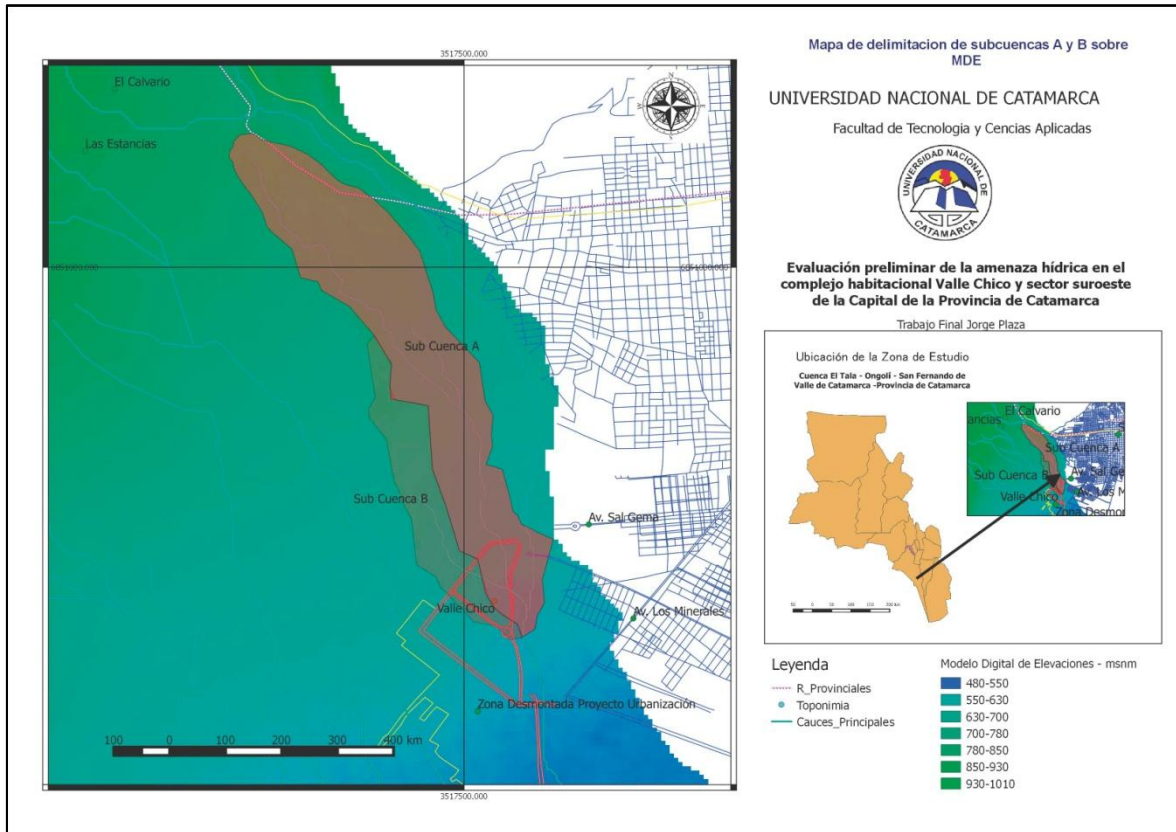


Figura 11: Detalle de subcuencas A y B sobre MDE. Para mayor detalle consultar Anexo I Cartografía

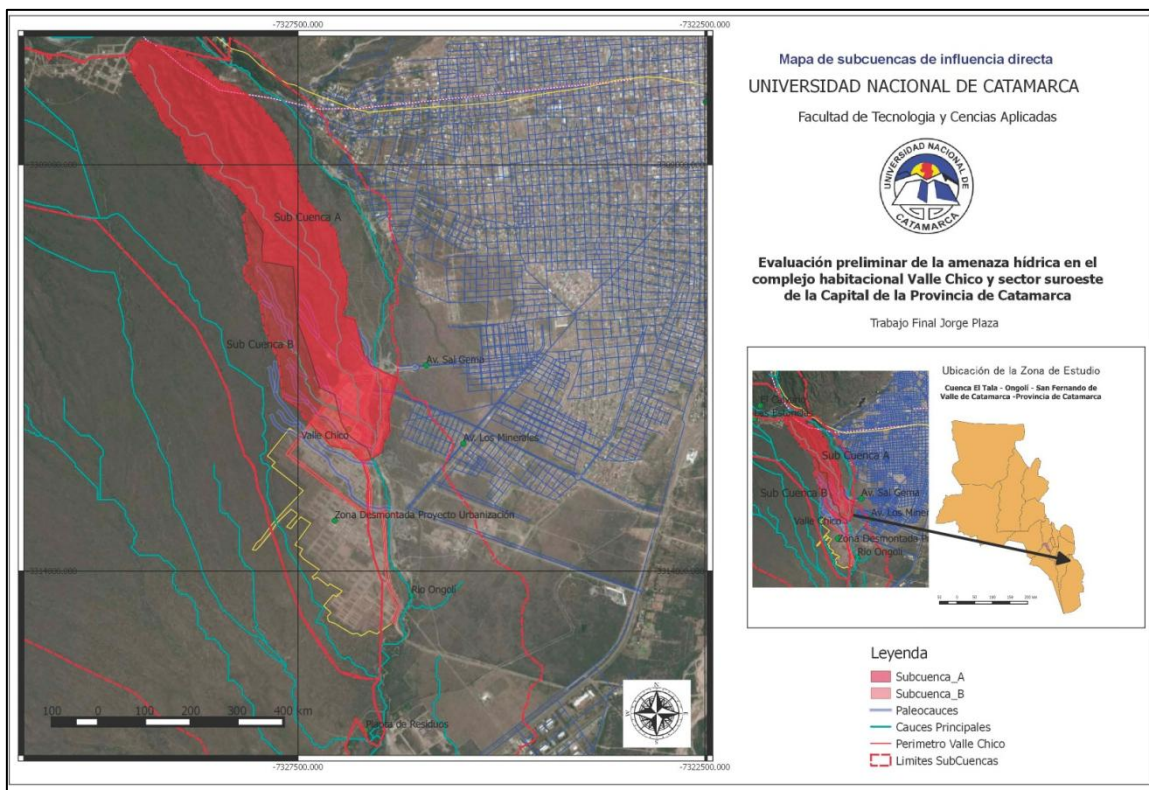


Figura 12: Subcuencas A y B, que influyen en el área de estudio.

7 RELEVAMIENTO DE CAMPO - REGISTRO FOTOGRÁFICO

Una vez obtenida la cartografía base, identificada y caracterizada las subcuencas con sus respectivos cauces principales, se realizaron diversas campañas con el objetivo de relevar y realizar control de campo de la hidromorfología de los cauces que desembocan en el área de estudio y de las obras hídricas construidas en el complejo Valle Chico. Particularmente se realizaron visitas al área de estudio post crecidas para observar las variaciones hidrológicas de las subcuencas y realizar validación de los resultados de laboratorio.

7.1 Relevamiento posterior a precipitaciones intensas (13 de enero 2016).

En este relevamiento se pudo observar que las precipitaciones del día 13 de enero de 2016 ocasionaron el aumento de caudal del río Ongolí, lo que produjo erosión en los terraplenes de ingreso que se colocaron en forma transitoria hasta que se habilite el puente principal, el alcantarillado con caños de Policarbonato reforzado con fibra de vidrio (PRFV) fueron removido y arrastrados aguas abajo, lo que ocasionó la interrupción del ingreso a la zona por algunas horas, (Fotos 2 y 3).

En la siguiente figura (Fig. 12) se presenta el gráfico de una estación meteorológica de aficionados a la meteorología, donde se registra la precipitación de ese día con 15 mm en una hora, ocurrida entre las 6:00 y 7:00 hs aproximadamente.

Por las condiciones de los terraplenes de ingreso, teniendo en cuenta que el puente principal no estaba habilitado, al momento de la visita no se pudo ingresar a visualizar los cauces principales de las subcuencas A y B.

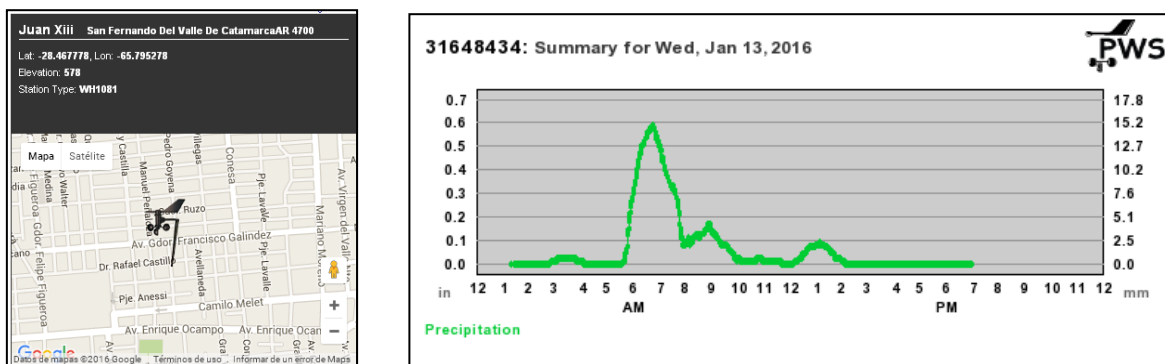


Figura 13: Hietograma de precipitación. Estación meteorológica de cazadores de tormentas.

7.1.1 Registro Fotográfico.



Foto 1: Vista del puente principal durante aumento de caudal del río.



Foto 2: Terraplén Norte erosionado, y cañerías arrastradas por la corriente.



Foto 3: Vista Norte a Sur, puente sobre ingreso principal.



Foto 4: Vista Norte, puente sobre ingreso principal.



Foto 5: Terraplén Sur erosionado por la corriente.



Foto 6: Vista debajo del puente de ingreso.



Foto 7: Vecinos sin poder ingresar a Valle Chico.



Foto 8: Vehículos en espera para ingresar al Barrio.

7.2 Relevamiento de obras pluviales

En la siguiente figura se muestra el plano confeccionado luego de realizados los controles de campo, donde se observan las principales obras pluviales, relevadas en el presente trabajo final.

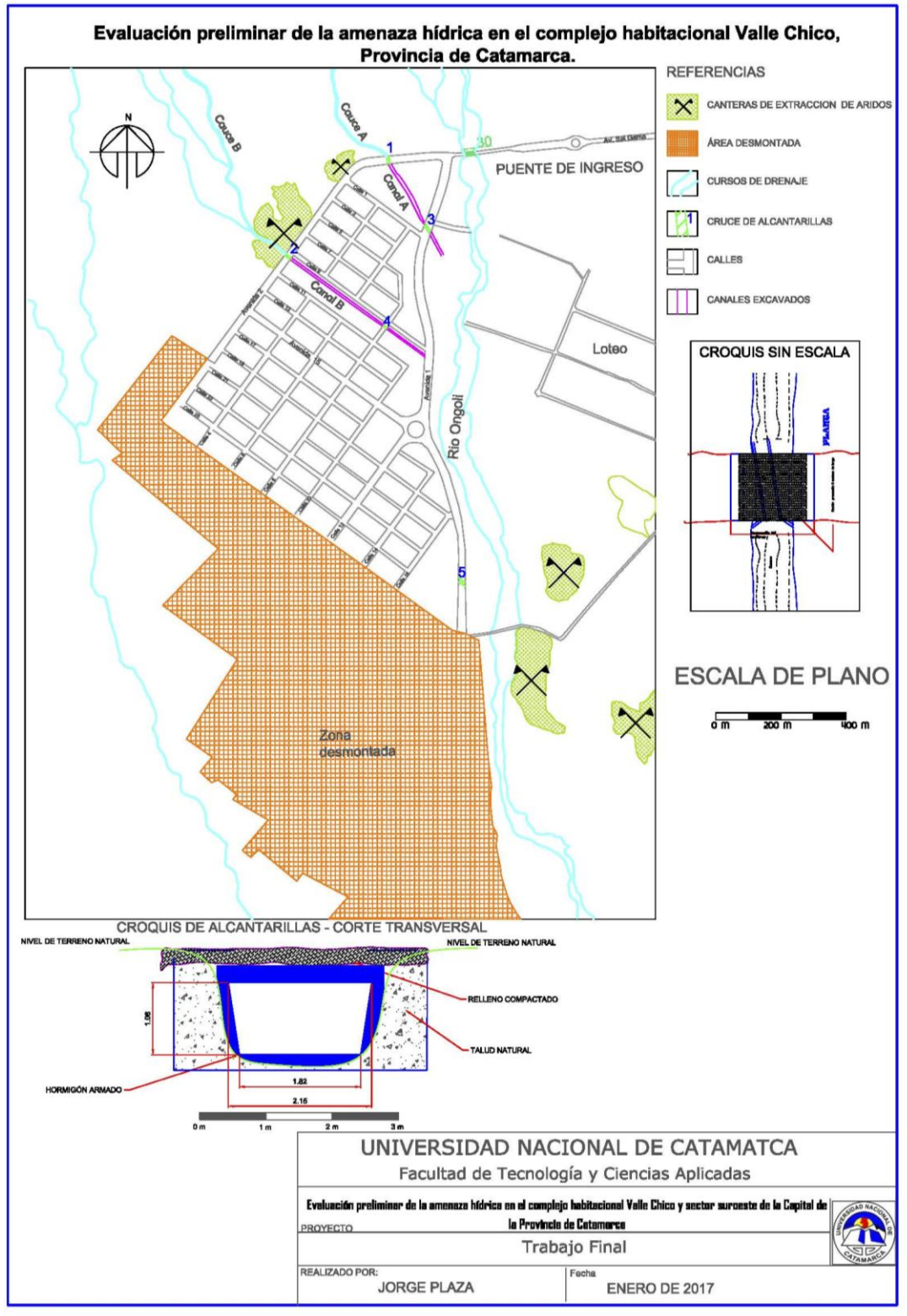


Figura 14: Plano de Valle Chico. Ver plano a escala en Anexo I: Cartografía.



Foto 9: Puente 1, gavión sobre estribo y terraplén del margen Este, vista desde el Sur.



Foto 10: Puente 1, gavión sobre estribo y terraplén del margen Oeste, vista desde el Norte.



Foto 11: Gaviones margen Oeste, vista desde el Norte.



Foto 12: Gavión Oeste, vista Sur.



Foto 13: Alcantarilla 1 en Avenida 2, vista desde aguas arriba.



Foto 14: Alcantarilla 1, salida aguas abajo.



Foto 15: Vista Norte, Alcantarilla 1.



Foto 16: Alcantarilla 1, evidencias de desbordes de flujos no contenidos por la alcantarilla.



Foto 17: Alcantarilla 1, salida aguas abajo.



Foto 18: Canal A, vista NO-SE.



Foto 19: Alcantarilla 2, material obstruyendo.



Foto 20: Canal B aguas abajo de Alcantarilla 2.



Foto 21: Cárcava en badén de Alcantarilla 2.



Foto 22: Paleocauce, aguas abajo de Alcantarilla 1.



Foto 23: Alcantarilla 3 zona de descarga.



Foto 24: Vista del cauce aguas arriba de Alcantarilla 3.



7.3 Relevamiento de cauces principales: subcuencas A y B.

Como se determinó en el capítulo anterior, existen 2 cauces que atraviesan el asentamiento urbano, correspondientes a las subcuencas: A y B.

La subcuenca A, nace aproximadamente en la zona de la Ciudad Perdida, su cauce principal posee un rumbo N-S aproximadamente, hasta llegar a su desembocadura en el

canal principal del río El Tala-Ongolí, atravesando las avenidas principales de acceso a Valle Chico (Avenida 1 y Avenida 2), donde este cauce se encuentra canalizado con taludes en suelo natural. La canalización es del tipo trapezoidal, forma geométrica adoptada también para las alcantarillas de conducción pluvial por debajo de las avenidas, con la diferencia que en esos sectores dicha canalización se encuentra construida con hormigón armado.

La subcuenca B, es una cuenca pequeña que aporta a la subcuenca A, algunos metros antes de su descarga sobre el río el Tala-Ongolí y aguas abajo del asentamiento urbano, su cauce principal tiene rumbo aproximado NO-SE. El curso principal de la subcuenca B también se encuentra canalizado paralelamente a la Calle 9, entre las Avenidas 1 y 2.

Una vez identificados los cauces principales de dichas subcuencas se realizó el relevamiento y control de campo de los mismos, dicho recorrido fue trackeado con el empleo de GPS portátil. Esta actividad permitió disponer con detalle de las variables hidromorfológicas: longitud, dimensiones transversales, pendientes, material y capacidad de transporte, etc. Este control se empleó para validar la red de drenaje y la morfología de cuencas obtenidas mediante procesos computarizados de laboratorio.

En la siguiente imagen (Fig. 13), se presentan los tracks generados en el relevamiento. Mejorar mapa con las premisas indicadas anteriormente

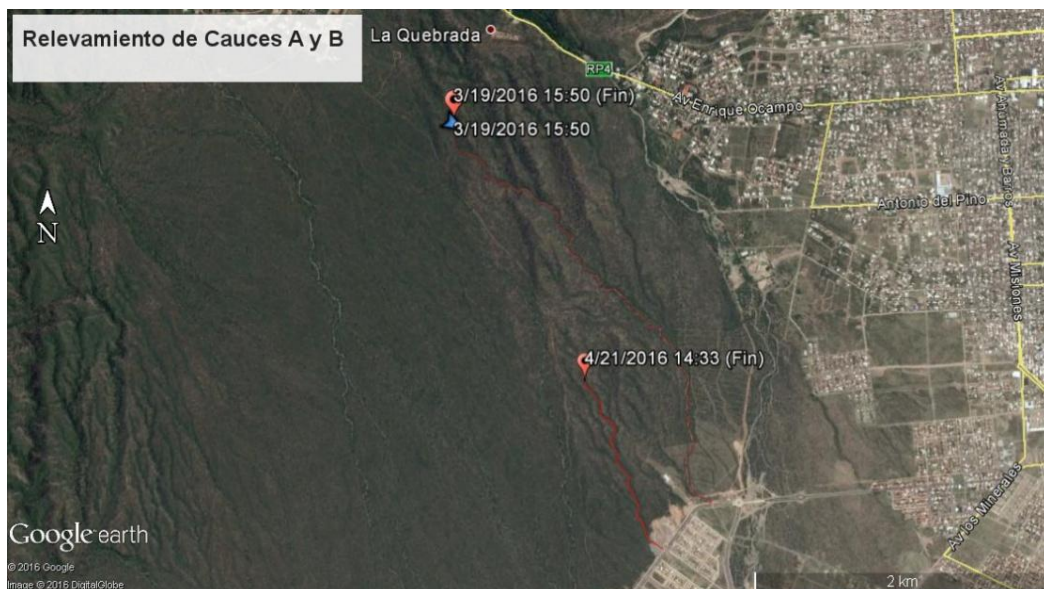


Figura 15: Tracks de relevamiento de cauces principales, volcados en imagen de Google Earth (2016).

Fotos Cauce A:

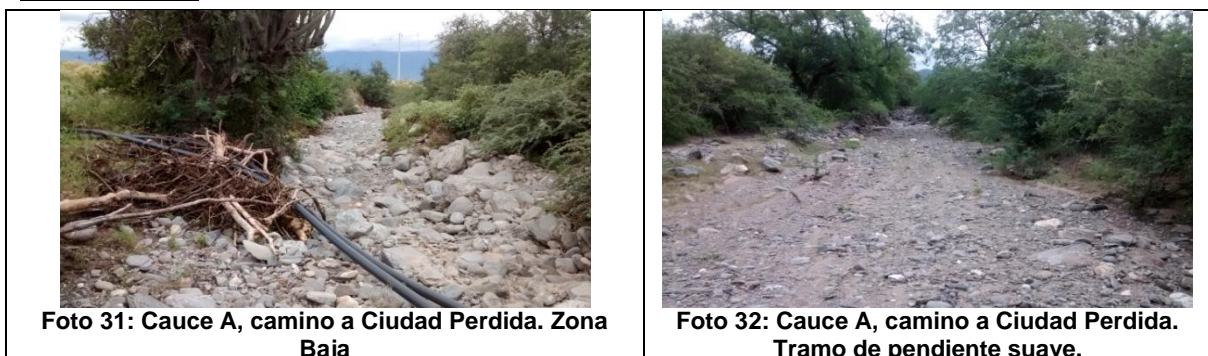




Foto 33: Zona de cambio de pendiente, a 700 m aguas arriba de Alcantarilla 1.



Foto 34: Talud erosionado por cambios, en la morfología del cauce.



Foto 35: Zona obstruida, por caída de árbol.



Foto 36: Ancho del cauce, a 2300 m aguas arriba de Alcantarilla 1.



Foto 37: Tramo intermedio del cauce, rodados de hasta 30 cm aproximadamente



Foto 38: Talud natural observado durante el relevamiento. (Formación Coneta)



Foto 39: Rocas presente en la zona alta de la subcuenca.



Foto 40: Tramo al inicio del colector, sobre basamento.



Foto 41. Tramo al inicio del colector.

Fotos Cauce B.



Con la información obtenida en los relevamientos, la cartografía base elaborada, y la fotointerpretación de imágenes satelitales, se confeccionó un plano detallado indicando parcelas, calles y obras hidráulicas existentes (Fig. 13).

8 CÁLCULOS DE CAUDALES POR OBSERVACIONES DE CAMPO SOBRE CAUCE A

En el siguiente apartado se describen las tareas realizadas para la obtención de los caudales que se generarían en las diferentes cuencas ante eventos ordinarios y extraordinarios de precipitaciones.

8.1 Determinación de caudal por método expeditivo

En la foto 16, del relevamiento de obras pluviales se observan evidencias de desborde en la Alcantarilla 1. Durante el relevamiento del cauce A, se pudieron observar marcas de crecida (mezcla de restos de estrato vegetativo y sedimentos) generados por el desborde de la Alcantarilla 1, producido por las precipitaciones ocurridas durante la tormenta del 13 de Junio de 2016.

Teniendo en cuenta que no se conocen datos de aforo, estas marcas de creciente, fueron empleadas para estimar mediante tareas de campo y posterior tratamiento en gabinete el caudal aproximado del flujo que desbordó la alcantarilla.

Se entiende por caudal (Q) al volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección determinada. Una relación muy usada es la de “sección” y “velocidad de flujo”, es por ello que a partir de esta expresión se diseñó el plan de relevamiento a los fines de obtener los datos de ambas variables, necesarias para la estimación del caudal.

8.1.1 Determinación de la sección

Esta tarea se realizó seleccionando un tramo recto y lo más uniforme posible dentro del cauce A, en donde se pudieran apreciar las marcas de creciente. Una vez seleccionada el área de trabajo, se procedió a la toma de datos para dimensionar un perfil representativo del cauce, esta tarea se realizó mediante el empleo de cinta métrica.

El perfil así obtenido se digitalizó en el software AutoCAD 2012, en el cual se pueden obtener los parámetros geométricos del perfil construido (Fig.15), y en la figura 15 se pudo observar la zona donde se realizó la toma de datos para la confección del perfil, aproximadamente 500 metros aguas arriba de la alcantarilla 1.

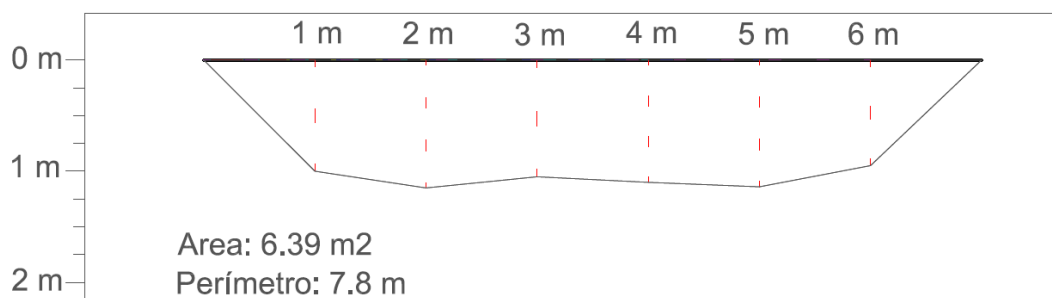


Figura 16: Perfil de la sección A-A'



Figura 17. Vista de la zona de confección del perfil A-A'

8.1.2 Determinación de la velocidad del flujo.

El cálculo hidráulico considerado para establecer la velocidad del flujo que generó las marcas de crecida se estableció mediante la fórmula de Robert Manning[‡], para canales abiertos y tuberías, por ser el procedimiento más utilizado y de fácil aplicación, el cual permite obtener la velocidad de flujo y posteriormente el caudal para una condición de régimen uniforme mediante la siguiente relación.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$R = A / P$$

$$Q = VA$$

Figura 18: Fórmula de Manning para la obtención de velocidad de flujo en un canal natural.

[‡] La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning, en 1889.

Donde:

- ⇒ Caudal (m^3/s) Q
- ⇒ Velocidad media de flujo (m/s) V
- ⇒ Área de la sección hidráulica (m^2) A
- ⇒ Perímetro mojado (m) P
- ⇒ Radio hidráulico (m) R
- ⇒ Pendiente de fondo (m/m) S
- ⇒ Coeficiente de Manning (n)

Tal como puede deducirse de la fórmula, los parámetros necesarios para la obtención de la velocidad de flujo son el **radio hidráulico** y la **pendiente** del fondo de la sección seleccionada.

La determinación de la pendiente del fondo se realizó empleando una manguera transparente con agua, con lo que fue posible obtener la diferencia de altura entre dos puntos del terreno (ΔC), y conociendo la distancia horizontal entre estos dos puntos (D) permite calcular la pendiente del fondo de la siguiente manera:

Datos obtenidos en campo sección A-A'.	Distancia entre dos puntos: 15m (D)
	Diferencia de altura de Agua: 0.25 m (ΔC)

- ⇒ $S = \Delta C / D$
- ⇒ $S = 0.25 \text{ m} / 15 \text{ m} = 0.016$

Los valores de pendiente obtenidos resultaron del promedio de 3 levantamientos en diferentes sectores del tramo, a los efectos de minimizar el error obtenido durante las mediciones de campo.

Otro parámetro necesario para calcular la velocidad de flujo es el radio hidráulico, tal como se observa en la figura 16 este parámetro está dado por la relación entre el área de la sección hidráulica en metros cuadrados y el perímetro mojado en metros ($R=A/P$), estas variables fueron calculadas automáticamente en el perfil construido con AutoCAD, (Fig. 14) y a partir de lo cual se calculó el radio hidráulico. El valor obtenido en este caso es 0,426 m.

El último dato necesario para obtener la velocidad de flujo es el coeficiente de rugosidad de Manning. Cuando se trabaja con esta variable se presenta una considerable dificultad que consiste en seleccionar el coeficiente de rugosidad apropiado, debido a que por el momento no se conocen métodos exactos para calcular este valor.

Para la elección de un valor de rugosidad “n” apropiado, es necesario el análisis de diferentes factores tales como:

- La rugosidad superficial, está dada por el tamaño y la forma de los granos del material que conforma el perímetro mojado, y que produce un efecto retardador del flujo.

- Vegetación, esta puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el escurrimiento.
- Irregularidades del canal, es un factor importante ya que la presencia de irregularidades en cuanto a la uniformidad del tamaño y forma del canal, o presencia de socavaciones y obstrucciones contribuyen al retardo del flujo.

En el presente trabajo se obtuvo el valor de “n” a partir de la tabla propuesta por Ven Te Chow, Ph.D, 1994, en (Carmona Gonzales, 2009), (Fig. 17).

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente <i>n</i> son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Figura 19: Tabla de valores típicos de “n”, propuesta por Ven Te Chow, Ph.D. (1994).

Para realizar la correcta y representativa elección del coeficiente de rugosidad se compararon fotografías de fondo de cauces con valores de “n” conocidos (Fig. 20) con las tomadas durante las visitas a la zona de trabajo, sobre el cauce A (Fig. 19).



Figura 20: Fotos tomadas para determinar el coeficiente de rugosidad sobre el cauce A.



Figura 21: Coeficientes de rugosidad determinados en Informe (Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca, 2015)

El coeficiente de rugosidad seleccionado para realizar los cálculos hidrológicos en el presente trabajo es 0.058.

8.1.3 Obtención del caudal a partir de la velocidad de flujo.

Con los datos obtenidos en los apartados precedentes se pudo calcular la velocidad de flujo y este valor multiplicado por la sección, sirvió para estimar el caudal que ocasionó el desborde de la Alcantarilla 1.

Todas estas variables se cargaron en una planilla de cálculo de Microsoft Excel donde se analizaron y resolvieron los parámetros propuestos en la fórmula de Manning. A continuación se muestran los parámetros empleados y los resultados obtenidos en la planilla Excel.

Mediante este proceso se determinó una velocidad de flujo de 1.86 m/seg y un caudal de escurrimiento de 11.9 m³/seg. Estos valores, como se mencionó con anterioridad, son estimaciones, debido a que no existen datos de aforo en esta sub-cuenca.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2											
3		V= velocidad me la corriente en m/s						Datos de medicion pte media		Largo de medicion: 15m	
4	$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$	R=radio hidraulico								desnivel: 0.25 m	
5		S= pendiente media del canal en metros por metro									
6		n= Coeficiente de de rugosidad de Maning.									
7								Pendiente media m/m		0.016	
8								Pendiente media %		16%	1.6
9								Perimetro mojado (lab)		7.8296 m	
10								perimetro mojado (cam)		8.12 m	
11								Area de la seccion (lab)		6.39 m2	
12		RH= A/Pm						Radio Hidraulico		0.426	
13											
14		A= area									
15		Pm= Perimetro Mojado									
16											
17											
18		$R^{2/3} =$	0.8537759								
19		$S^{1/2} =$	0.12649111								
20		n=	0.058					Q=VxA			
21											
22		V=	1.86198377					Q=		11.8980763 m3/seg	
23											

Figura 22. Resultados de la fórmula de Manning obtenidos en hoja de cálculo Excel.

8.2 Estimación de la erosionabilidad del cauce

Un factor importante a analizar es la susceptibilidad a la erosión del cauce y las márgenes, esta determinación se consideró importante debido a que durante las tareas de relevamiento se observaron taludes de dimensiones importantes y árboles caídos.

La erosión de márgenes se produce como consecuencia de la acción combinada de diversos factores, tales como el desgaste por exposición cíclica a procesos de humedecimiento y secado, la erosión fluvial del lecho en proximidades de margen, la erosión del pié del talud y distintos tipos de mecanismos de colapsos masivos por inestabilidad geotécnica.

El proceso de erosión de márgenes induce cambios morfológicos significativos en el sistema fluvial e ingresos laterales de sedimentos, lo que modifica el volumen real del flujo que transporta el cauce.

En el ítem anterior fue posible calcular velocidad media de la corriente (1.87 m/seg), a este dato se lo comparó con una tabla expuesta en "Forest practices code of British Columbia"^{§§}, donde se determinó la velocidad capaz de erosionar el tipo de material presente en las márgenes del cauce.

Tabla 5. Velocidades de la corriente que pueden erosionar materiales de diferentes tamaños.

Material	Diameter(mm)	Mean Velocity (m/sec)
Silt	0.005	0.15
Sand	1	0.55
Fine gravel	10	1
Medium gravel	25	1.4
Coarse gravel	75	2.4
Cobble	150	3.3

El tamaño del material presente está comprendido entre 25 y 60 mm, de acuerdo a la tabla 4, la velocidad de flujo que es capaz de erosionar este material va entre 1.4 a 2.4 m/seg. Por lo que las márgenes están sujetas a erosión en función de la velocidad obtenida con el empleo de la formula de Manning, de 1,8 m/seg, en el apartado [7.1.2 Determinación de la velocidad del flujo.](#)

8.3 Estimación de caudal por método de altura del agua para alcantarillas de arroyo. Método Canadiense.

La aplicación de este método para determinar el Q_{100} a partir de la observación de las marcas de crecientes, es un método canadiense sugerido en La guía técnica de Caminos Forestales (National Library of Canada Cataloguing in Publication Data, 2002), se emplea en el cálculo de alcantarillas en cursos que presentan un drenaje base menor 6 m^3/s de descarga de diseño, apropiado para ser utilizado como método complementario.

Este método supone que la sección ordinaria de un cauce representa la media anual, en una determinada sección transversal (Q_2). Mientras que la sección conformada por la altura y ancho para Q_{100} (caudal de tiempo de retorno de 100 años) es tres veces la media anual. También supone que la descarga no es sensible a las influencias de la pendiente del cauce, la rugosidad u otros factores.

Estas suposiciones no son verdaderamente representativas en situaciones reales, por lo tanto la exactitud que se espera para establecer la descarga de diseño, debe ser corroborada por otros métodos de apoyo.

^{§§} Esta guía proporciona asesoramiento sobre diseño de carreteras, prácticas de campo para ayudar a alcanzar los objetivos legales y Requisitos del Código de Prácticas Forestales de Legislación Británica, El Reglamento Forestal y el Reglamento de Planificación Operativa.

El ancho de la sección húmeda se define como la distancia horizontal entre el banco del arroyo en lados opuestos de la corriente, medidos en ángulo recto. El punto en cada banco donde se toma la medición del ancho se indica generalmente mediante un cambio definido en la vegetación y la textura de los sedimentos. Por encima de esta línea, los suelos y las plantas terrestres aparecen sin perturbaciones producto de la erosión de la corriente, por debajo de este borde, los bancos suelen mostrar signos de decoloración y sedimentación.

A partir de este criterio se procedió a obtener el dato del ancho W_1 (figura 22), necesario para la construcción del perfil (Figura 15), que corresponde al ancho de la sección de una creciente extraordinaria. Como se explicó en el párrafo anterior, las crecientes extraordinarias es tres veces mayor al de una escorrentía ordinaria, mediante lo cual se obtuvo el valor de W_2 .

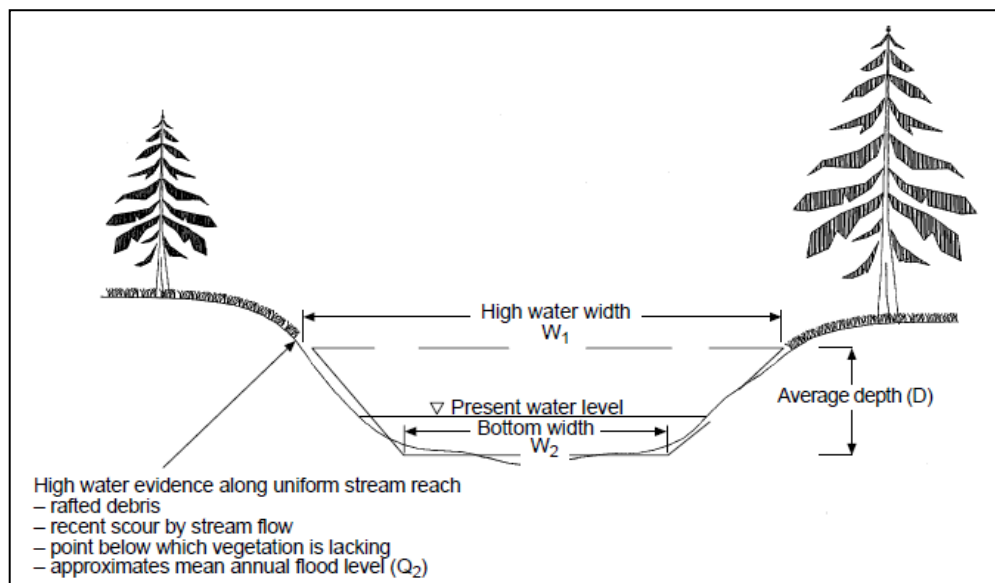


Figura 23: Representación de los datos de la geometría del cauce necesaria para la aplicación del método canadiense.

Los datos W , se los emplea para calcular el área de la sección transversal aplicando la siguiente fórmula.

$$A = (W_1 + W_2)/2 \cdot D.$$

Para el presente trabajo se tomaron los siguientes valores:

Método Canadiense.	
W1=	7
W2=	5.4
D=	0.8
A=	4.96

El valor del área A, se obtuvo mediante la fórmula antes mencionada y es de 4.96 m^2 , si a este valor se aplica la velocidad del flujo (2.4 m/seg) obtenida de la Tabla 4, a partir de la granulometría del material de arrastre, se obtiene el caudal para un periodo de retorno de 100 años (Q_{100}).

$$A \cdot V = Q \rightarrow 4.96 \text{ m}^2 \times 2.4 \text{ m/seg} = 9.23 \text{ m}^3/\text{seg.} \rightarrow Q_{100} = 11.904 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se puede observar que este valor de caudal concuerda con el obtenido mediante la fórmula de Manning en el apartado 7.1.2. Determinación de la velocidad del flujo.

8.4 Registro fotográfico de las tareas desarrolladas.



Foto 48: Tareas de medición de pendiente del cauce.

Foto 49: Tareas de confección de perfil del cauce.

Foto 50. Medición de nivel en la sección estudiada.

8.5 Consideraciones Preliminares

A partir de las tareas realizadas surgen las siguientes consideraciones:

- Los cauces A y B son del tipo aluvial y régimen no permanente.
- Se observaron dos zonas potencialmente vulnerables ante eventos de precipitaciones extraordinarias. Estas zonas se encuentran en los cruces de los cauces de las subcuencas A y B con las Avenidas 1 y 2.
- Durante el relevamiento del cauce A, se registraron marcas de crecidas que desbordan la alcantarilla que atraviesa la Avenida 2.
- El cauce A presenta sectores donde se formaron taludes de erosión que llegan a los 4 metros de altura.
- En la Alcantarilla 1 se observaron evidencias de desborde, y en consecuencia anegación de caminos principales y secundarios.

Año 2017

- Se determinó de manera expeditiva el caudal y la velocidad de flujo de la creciente que habría originado el desborde.
- La alcantarilla 1 está sub-dimensionada acorde a los caudales obtenidos de los eventos recientes y se encuentran sin mantenimiento, con la presencia de sedimentos, vegetación y residuos.
- El cauce B, posee una vegetación abundante sobre su lecho ordinario, lo que indicaría que al menos en los últimos 2 años no transportó un volumen importante de agua.
- Se observó acopio de material en la zona aguas arriba de la Alcantarilla 2, proveniente de la cantera empleada para la realización de obras en el Complejo Habitacional (Foto 46), el cual se encuentra obstruyendo el lecho ordinario del cauce B.

9 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Una vez determinadas las zonas bajo potencial amenaza hídrica se procedió a analizar el comportamiento hidrológico de las subcuencas de interés ante eventos de precipitaciones extraordinarias, es decir una Modelación Hidrológica con el objetivo de estimar la precipitación y consecuente escorrentía, a efectos de predecir la funcionalidad de las obras de drenaje en la zonas de amenaza y para el posteriores recomendaciones según corresponda.

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de la relación precipitación - escorrentía, que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. “En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones, además, es posible manejar hipótesis que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias” (Dueñas, 1997). A pesar de ello en nuestro territorio se deben aplicar con serias precauciones, debido a la carencia de valores climáticos y de altimetría, y los modelos deben ser ajustados con criterios geológicos, Colegio de Geólogos de Catamarca (2014).

Para la modelación hidrológica se revisaron diferentes métodos y en base a las variables disponibles, se decidió aplicar el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semi-distribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos pico) a partir de condiciones extremas de lluvias predefinidas.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza componentes ingresados por el usuario: modelo de la cuenca, modelo meteorológico y especificaciones de control.

Los datos de entrada, incluyen las relaciones de formas, tamaño de la cuenca, precipitaciones y escurrimiento. Para este caso se utilizaron los siguientes datos de entrada:

- a) Parámetros morfométricos de las subcuencas
 - *Área*
 - *Longitud del cauce principal*
 - *Tiempo de Concentración*
- b) Registro del hietograma de diseño [precipitación=f(tiempo)]
- c) Número de curva: número teórico en función de factores como tipo de suelo, vegetación, etc.)

A continuación se desarrolla brevemente la metodología empleada para la obtención de las variables de entradas necesarias para la simulación.

9.1 Obtención de los parámetros morfométricos

(Tribe, 1992) Manifiesta que la obtención automática de datos hidrogeomorfológicos de una cuenca, partiendo de datos topográficos de modelos de elevación, es una forma más rápida, menos subjetiva y provista de cálculos más reproducibles que las técnicas de digitalización manual aplicadas a mapas topográficos.

Los cálculos de los parámetros morfométricos en el presente trabajo se realizaron para las subcuencas que se consideraron como potenciales amenazas (A y B), como también para la cuenca grande del Tala-Ongolí.

Para la obtención de dichos parámetros en forma automática se precisó de un MDE, los límites de las subcuencas y la red de drenaje obtenida durante la confección de la cartografía base. Dichos elementos fueron procesados con el módulo de gestión integrada del Agua México-Ecuador en el software IDRISI SELVA, el cual es un complemento que mediante una serie de procesamientos informáticos devuelve en forma automática los parámetros morfométricos más importantes en una cuenca.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para las subcuencas A y B, determinadas como las potenciales amenazas hídricas de acuerdo a las visitas de campo y análisis en gabinete. También se incluye los valores de la gran cuenca de El Tala-Ongolí.

Tabla 6. Parámetros Morfométricos de las cuencas en estudio.

	Cuenca Tala Ongolí	Sub Cuenca A	Sub Cuenca B
Área de cuenca. (km ²)	290.31	3.12	0.9
Perímetro de la cuenca. Km	143.72	17.63	8.36
Elevación media. M	1843.31	658.58	603.44
Pendiente media (grados).	21.47	5.93	4.47
Pendiente media (porcentaje).	41.62	10.48	7.84
Coeficiente de compacidad (Gravelius).	2.38	2.82	2.49
Relación circular.	0.18	0.13	0.16
Relación hipsométrica.	1.81	0.91	5.49
Longitud del eje del río principal. (km)	56.94	6.86	3
Longitud directa del río principal.	29.76	5.42	2.72
Coeficiente de sinuosidad hidráulico.	1.91	1.26	1.1
Altitud inicial.	4235	794	688
Altitud media.	463	536	545
Pendiente promedio del río principal.	10.24	5.58	7.18
Tiempo de concentración Kirpich.	4.22	1.03	0.5
Tiempo de concentración de California Highways and Public Works.	4.24	1.03	0.5

A continuación se presentan los perfiles de los cauces principales de cada cuenca y la curva hipsométrica obtenida con el software IDRISI SELVA.

En términos simples, la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada.

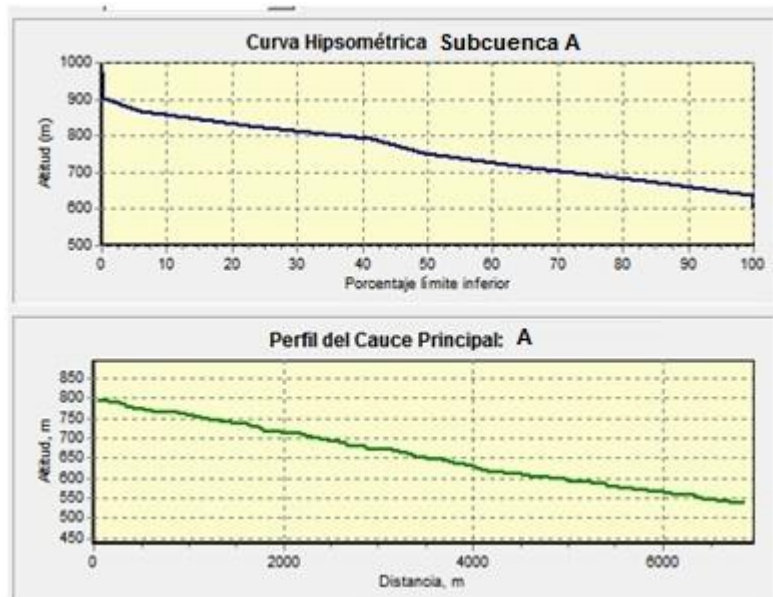


Figura 24: Planimetría Cuenca A.

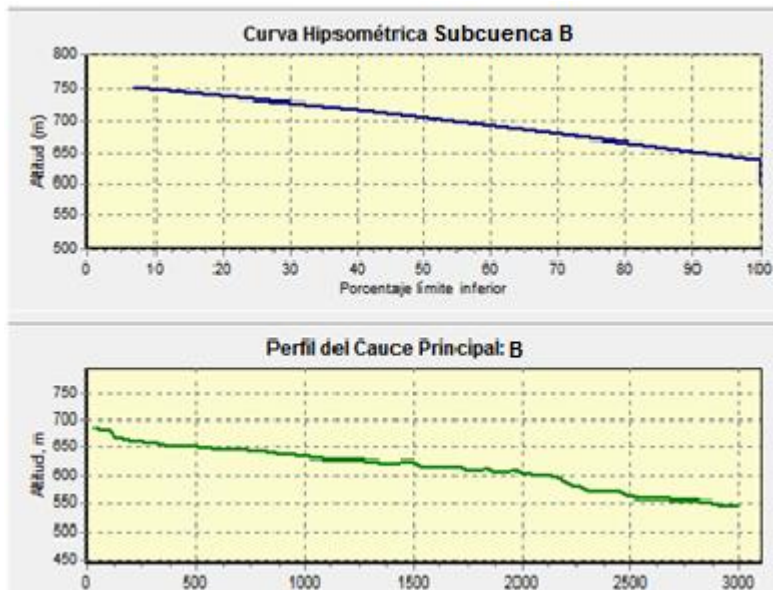


Figura 25: Planimetría Cuenca B.

Como se puede apreciar en la figura 22, que representa la cuenca A, aproximadamente el 40% del área de la cuenca se encuentra por encima de los 800 m.s.n.m. de altura y tenemos el 100% del área de la cuenca por encima de los 640 m.s.n.m. lo indicaría que se trata de una cuenca que presenta un potencial erosivo elevado, sobre todo en las partes altas de la cuenca.

La figura 23 muestra la curva hipsométrica de la cuenca B, donde se puede observar que el 100% del área de la cuenca se encuentra entre los 640 y 750 m.s.n.m., esta forma de la curva indica una cuenca en equilibrio, con un bajo potencial erosivo.

Una vez obtenidos los parámetros morfométricos de las subcuencas en estudio, se procedió a continuar el trabajo con el software HEC-HMS, en el que se procedió a cargar los datos de entrada para la generación del modelo matemático aplicado al estudio hidrológico de las subcuencas analizadas.

En la siguiente tabla (Tabla 6) se presenta un resumen de los parámetros morfométricos de entrada empleados en el modelo de HEC-HMS.

Tabla 7: Resumen de parámetros morfométricos empleados en la modelación hidrológica

Parámetros	Sub Cuenca A	Sub Cuenca B
Área de cuenca (km ²)	3.12	0.9
Longitud directa del río principal (km)	6.86	3
Tiempo de concentración Kirpich.	1.03	0.5

9.2 Hietogramas de precipitaciones extremas

La principal limitación en la conformación de los hietogramas de precipitaciones adecuados para simular el comportamiento de subcuencas ante eventos extraordinarios de precipitaciones, corresponde a los registros meteorológicos existentes. Los cortos periodos de registros y la ausencia de estaciones meteorológicas en la cuenca del Tala-Ongolí, como en el resto del territorio provincial, dificultan la incorporación de tormentas y en consecuencia restringen la simulación hidrológica, para predecir el comportamiento de las subcuencas con diferentes precipitaciones en determinados tiempos.

En el presente trabajo se empleará la información generada en el informe del estudio “(Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca, 2015)” realizado por el Instituto Nacional de Agua (INA), publicado en el año 2015, en el cual se desarrolla una metodología que reúne toda la información pluviométrica de la zona del valle central mediante análisis regional de frecuencias de las intensidades máximas diarias.

En este trabajo se desarrolló una metodología de análisis estadísticos de la información climatológica disponible para obtener curvas IDF^{***} empleando análisis regional de frecuencias y modelos de escalamiento temporal con exponente variable en función de la elevación del sitio. Con el empleo de estas curvas se pudo obtener las intensidades de tormentas, para una determinada duración y período de retorno, en los diferentes núcleos de tormentas que dependen de la posición del aguacero.

En la figura siguiente (Fig. 26) el núcleo de tormenta VII, el cual influye en las subcuencas A y B, identificadas como potenciales amenazas en la zona de estudio.

*** Curvas intensidad, duración y frecuencia. Son arreglos en los cuales se presentan las lluvias estimadas como intensidad de precipitación contra su duración y período de retorno.

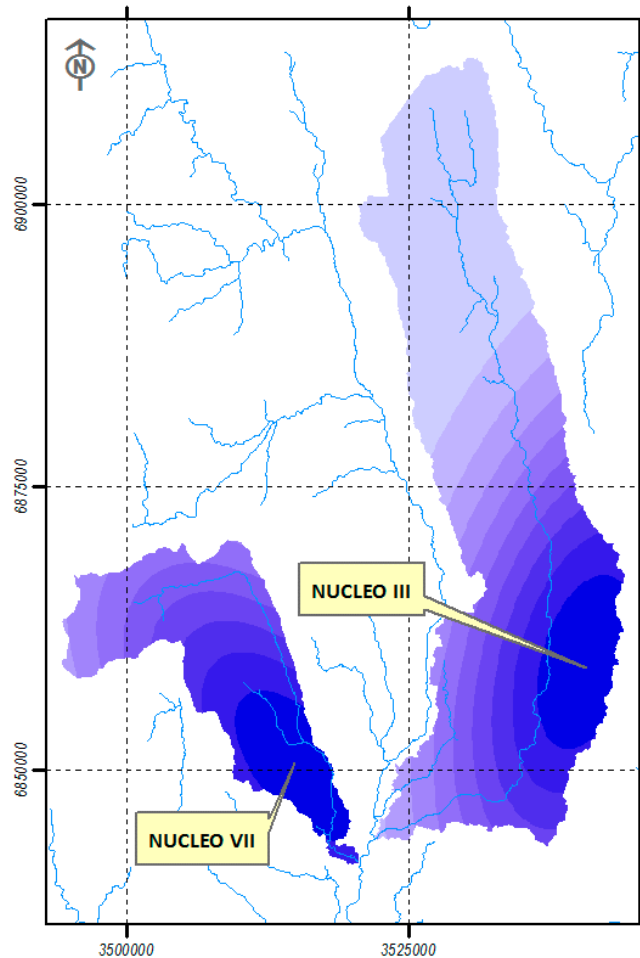


Figura 26. Núcleo de tormentas tomado de “Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín- Catamarca”

En la siguiente tabla se muestran las láminas máximas de precipitación determinadas en el informe *op cit* para periodos de retornos de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años en el núcleo VII de tormenta.

Tabla 8: Totales de precipitación del Núcleo de Tormenta VII

Láminas Totales de Precipitación en el núcleo seleccionado (mm)						
TR = 2 años	TR = 5 años	TR = 10 años	TR = 20 años	TR = 50 años	TR = 100 años	TR = 200 años
40.2	54.3	63.9	72.6	84.3	93.0	101.7

En función de los análisis de antecedentes, en el mencionado informe, la duración de la tormenta se estableció en 3 hs e intervalos de tiempo de 10 minutos. En la siguiente tabla se presenta la distribución temporal de las tormentas para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 9 distribución temporal de las tormentas para los diferentes periodos de retorno tomado de Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca.

D (min)	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200
0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
10	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
20	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
30	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%
40	2.5%	2.7%	2.4%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
50	6.4%	9.2%	6.4%	6.4%	6.4%	6.4%	6.4%
60	60.2%	57.7%	60.4%	60.3%	60.3%	60.4%	60.3%
70	8.7%	8.4%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%
80	4.2%	4.1%	4.2%	4.2%	4.2%	4.2%	4.2%
90	2.9%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%
100	2.2%	2.1%	2.1%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%
110	1.8%	1.7%	1.7%	1.8%	1.8%	1.7%	1.7%
120	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
130	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
140	1.1%	1.2%	1.1%	1.1%	1.1%	1.2%	1.1%
150	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
160	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%
170	0.9%	0.8%	0.8%	0.9%	0.8%	0.9%	0.9%
180	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%

A partir de las precipitaciones en los diferentes periodos de retorno y la distribución temporal de los eventos extraordinarios de precipitaciones se generaron las diferentes curvas de variación de la intensidad de precipitación en el tiempo (Hietogramas) correspondiente a cada periodo de retorno. A continuación se presentan los mismos.

Tabla 10: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 2 años

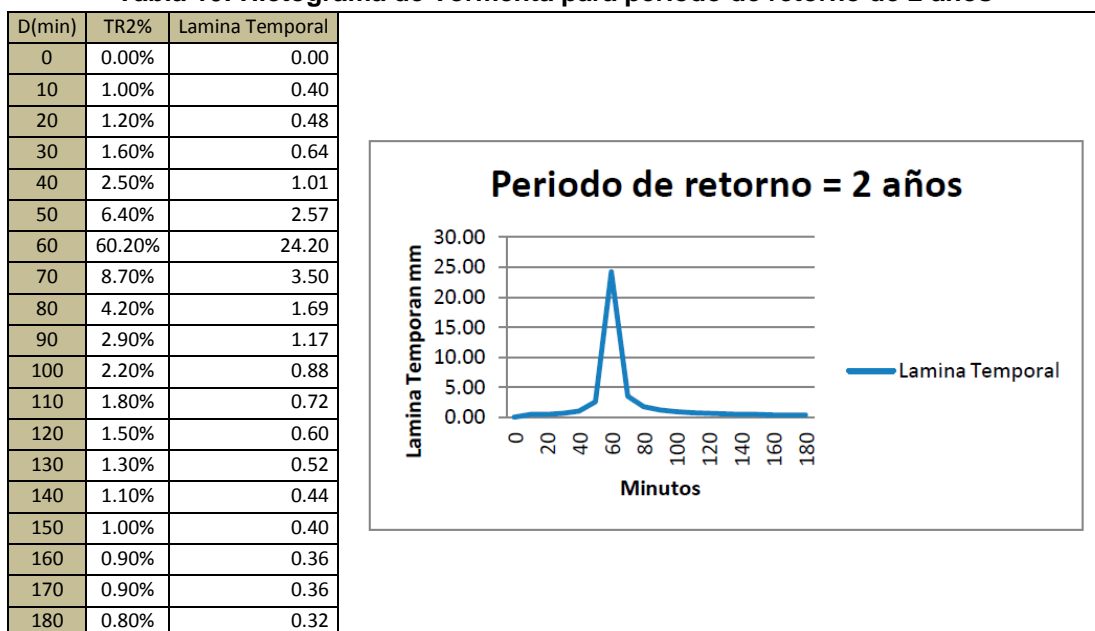


Tabla 11: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 5 años

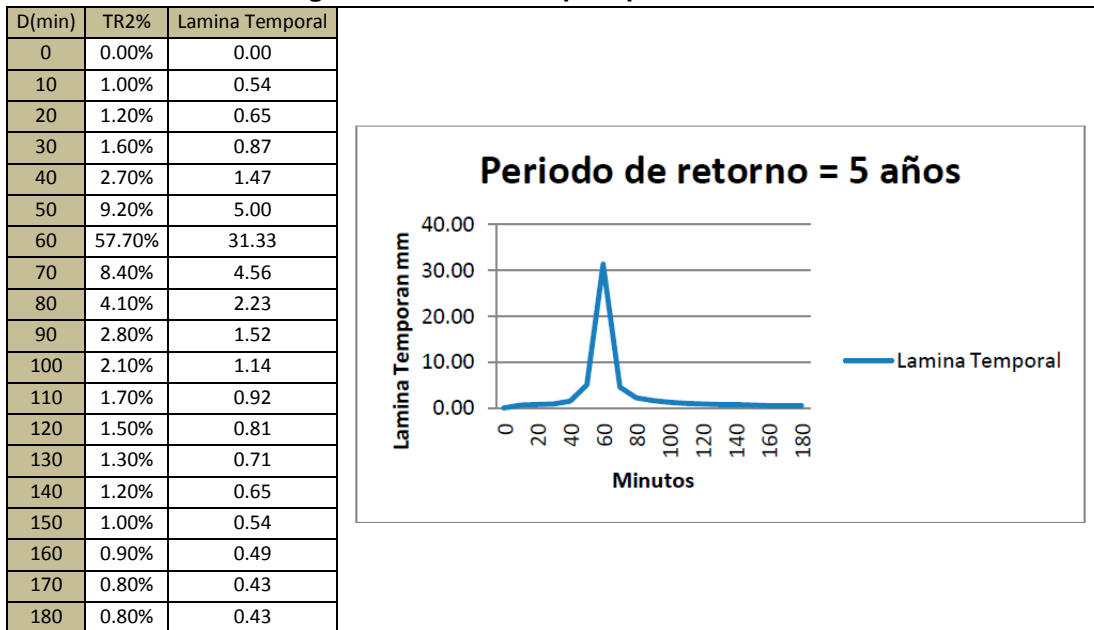


Tabla 12: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 10 años

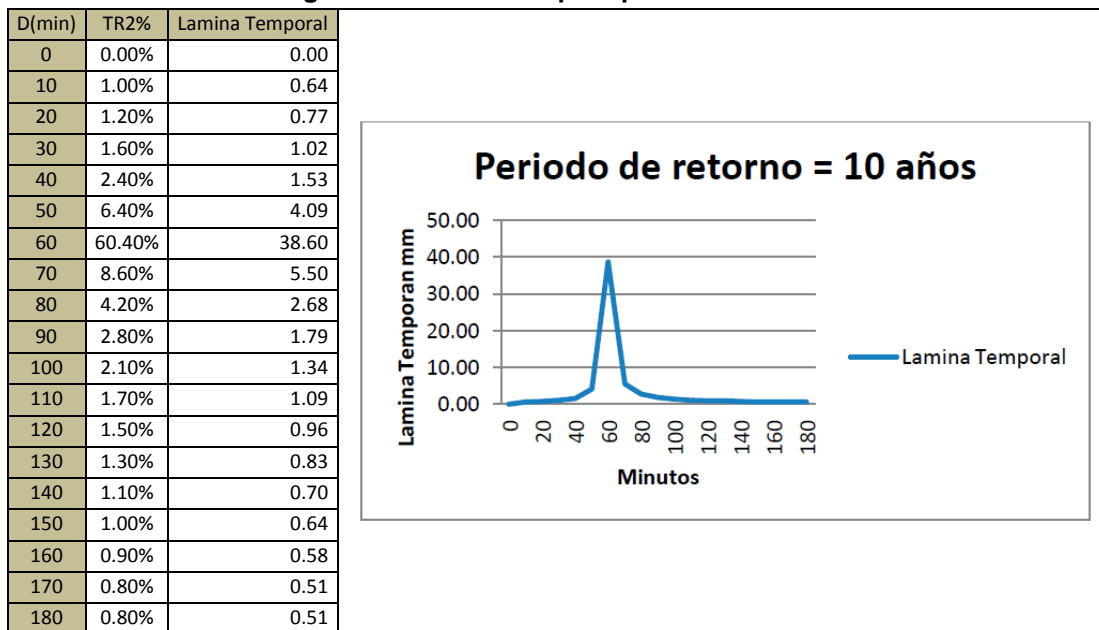


Tabla 13: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 20 años

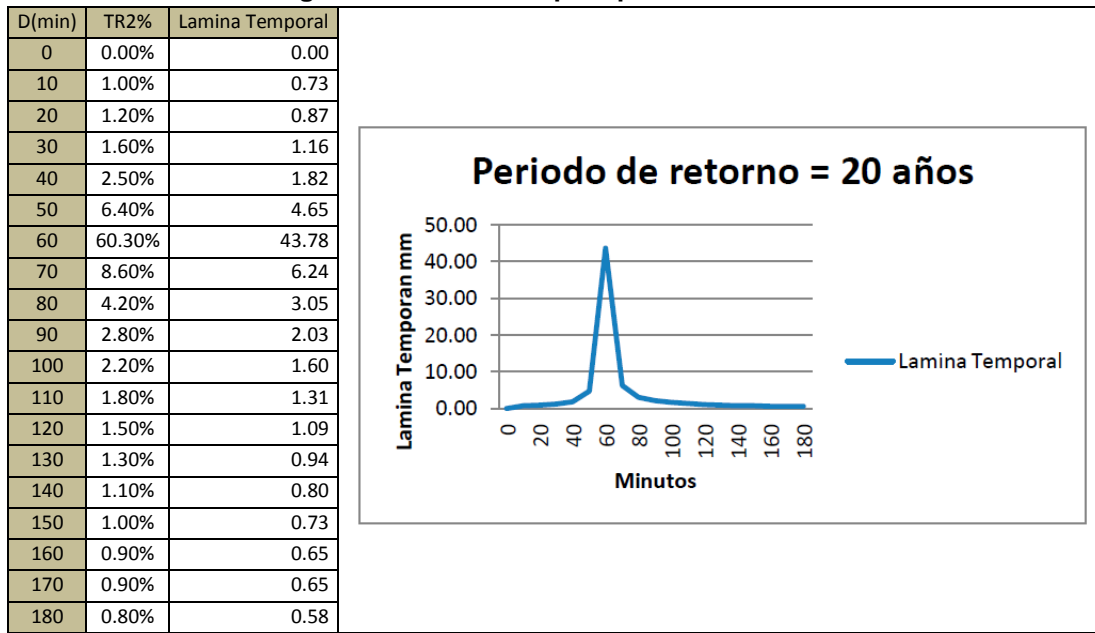


Tabla 14: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 50 años

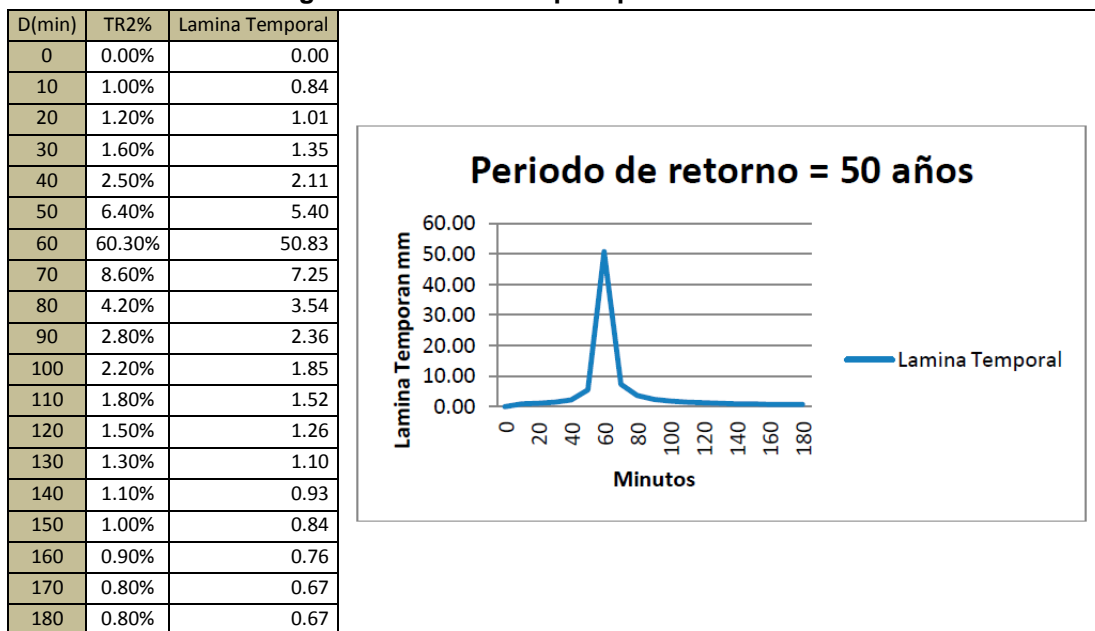


Tabla 15: Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 100 años

D(min)	TR2%	Lamina Temporal
0	0.00%	0.00
10	1.00%	0.93
20	1.20%	1.12
30	1.60%	1.49
40	2.50%	2.33
50	6.40%	5.95
60	60.40%	56.17
70	8.60%	8.00
80	4.20%	3.91
90	2.80%	2.60
100	2.20%	2.05
110	1.70%	1.58
120	1.50%	1.40
130	1.30%	1.21
140	1.20%	1.12
150	1.00%	0.93
160	0.90%	0.84
170	0.90%	0.84
180	0.80%	0.74

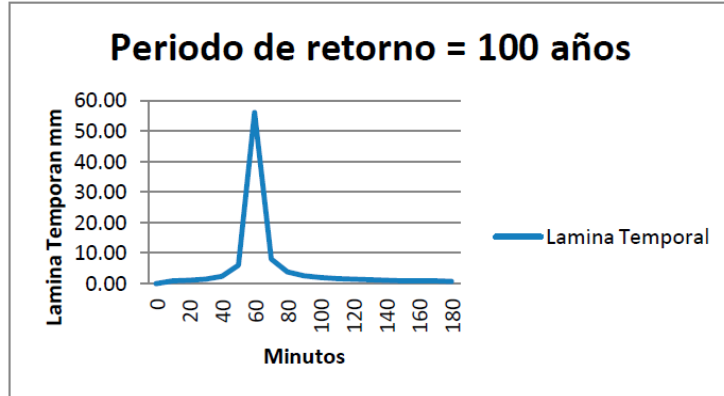
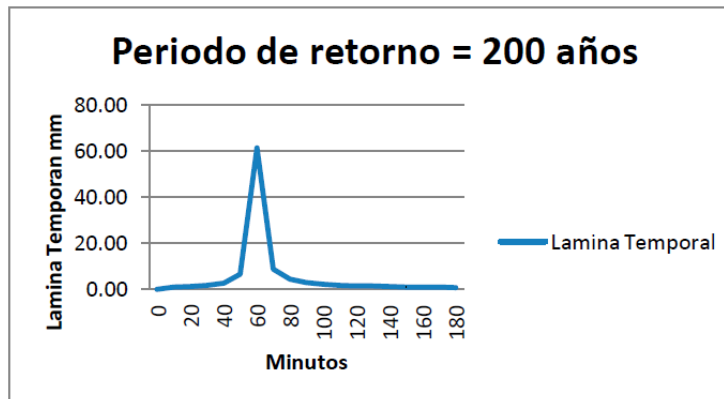


Tabla 16 Hietograma de Tormenta para periodo de retorno de 200 años

D(min)	TR2%	Lamina Temporal
0	0.00%	0.00
10	1.00%	1.02
20	1.20%	1.22
30	1.60%	1.63
40	2.50%	2.54
50	6.40%	6.51
60	60.30%	61.33
70	8.60%	8.75
80	4.20%	4.27
90	2.80%	2.85
100	2.20%	2.24
110	1.70%	1.73
120	1.50%	1.53
130	1.30%	1.32
140	1.10%	1.12
150	1.00%	1.02
160	0.90%	0.92
170	0.90%	0.92
180	0.80%	0.81



9.3 Elección del número de curva

Una vez obtenidos los periodos de retorno es necesario establecer la relación lluvia-escorrentía. HEC-HMS para el análisis de esta variable admite varios métodos, en el presente trabajo se empleó el método del Número de Curva.

El Soil Conservation Service (SCS) desarrolló en la década del setenta un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios Estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. El método consiste en la representación gráfica de curvas en sistema bionominal que representa la precipitación (P) y el exceso de precipitación o escorrentía directa (P_e). Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$ y para superficie sin escurrimiento $CN = 0$. Los números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (Condición II); para condiciones secas (Condición I) o condiciones húmedas (Condición III), se calculan los números de curvas equivalentes. Los valores de CN han sido tabulados en función del tipo de suelo y uso del suelo. (Chow, Maidment, & Mays, 1984), (Fig. 25).

Año 2017

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación		72	81	88	91
con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
	cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más		39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)		81	88	91	93
Residencial ³ :					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Figura 27. Tabla de CN en función del Tipo de suelo. (Chow, Maidment, & . Mays, 1984)

La elección de esta variable es muy importante para que los resultados obtenidos sean representativos del comportamiento hidrológico de las cuencas estudiadas, por ello a demás de la tabla antes expuesta, para la selección del Número de Curva (CN) se empleó el mapa de la cuenca Tala –Ongolí, extraída del informe (Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca, 2015) Donde se grafican los valores de los CN, en función del análisis de variables como cobertura vegetal, tipos de suelos, clima, usos del suelo, relieve, etc.

Se puede observar en la figura 25, que para la zona de estudio de acuerdo al tipo hidrológico de suelo el CN recomendado es 66 (bosques con cobertura de troncos delgados; cubierta pobre, Clase Hidrológica de suelo B).

En el Mapa de CN, Generado por el INA, se puede observar que la zona de estudio está comprendida entre 60 y 70 valores de Números de Curvas

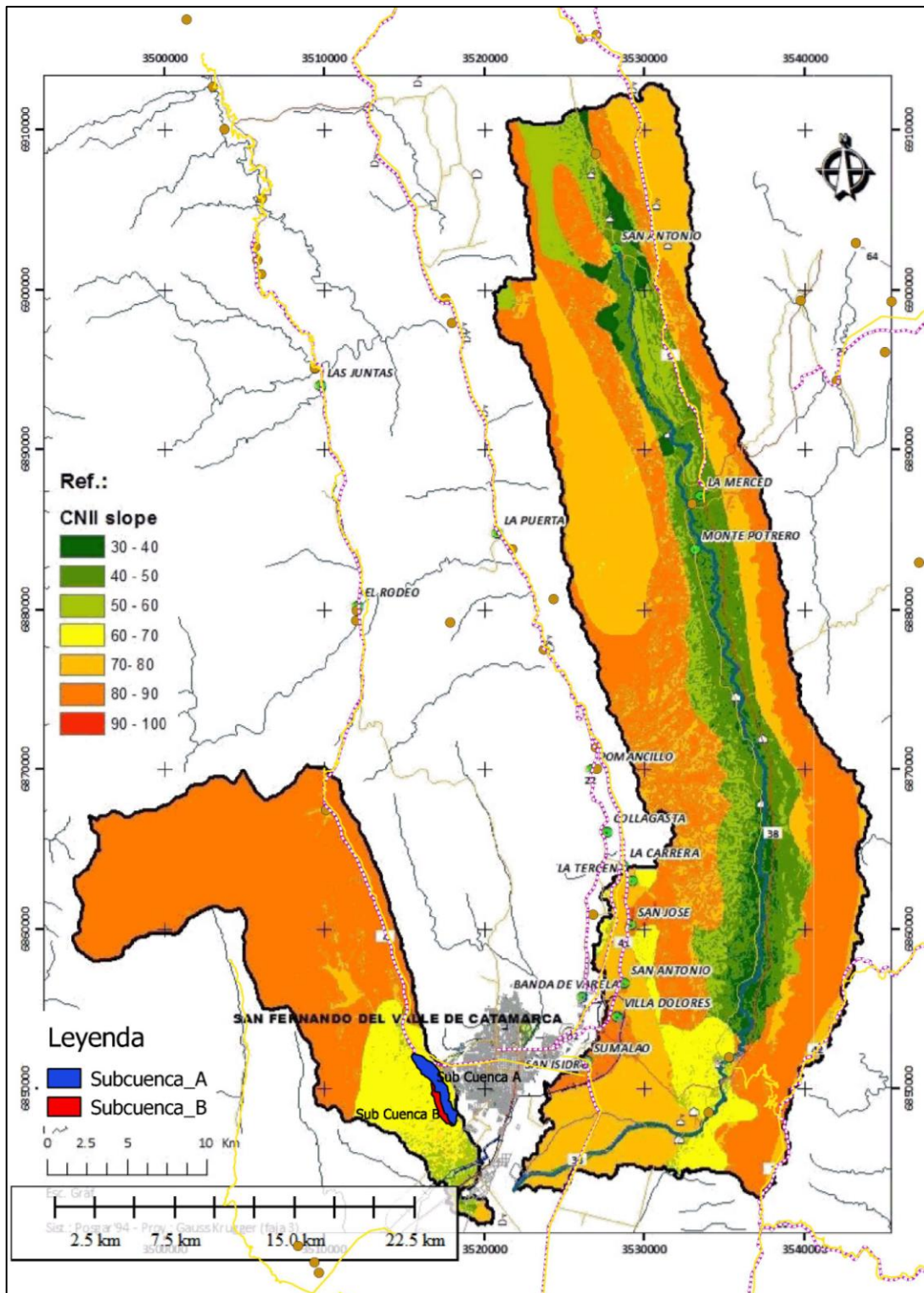


Figura 28 Fragmento mapa de CN corregido por pendiente. Estudio (Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín- Catamarca, 2015)

En función de estas dos metodologías se seleccionó para la modelación hidrológica CN=65

9.4 Modelo HEC-HMS

A continuación se presenta el esquema del modelo de la cuenca empleado para la modelación Hidrológica realizada en el presente trabajo. El mismo es un modelo que tiene en cuenta además de la cuenca el Tala-Ongolí, las subcuencas seleccionadas como potenciales amenazas del Complejo Habitacional Valle Chico.

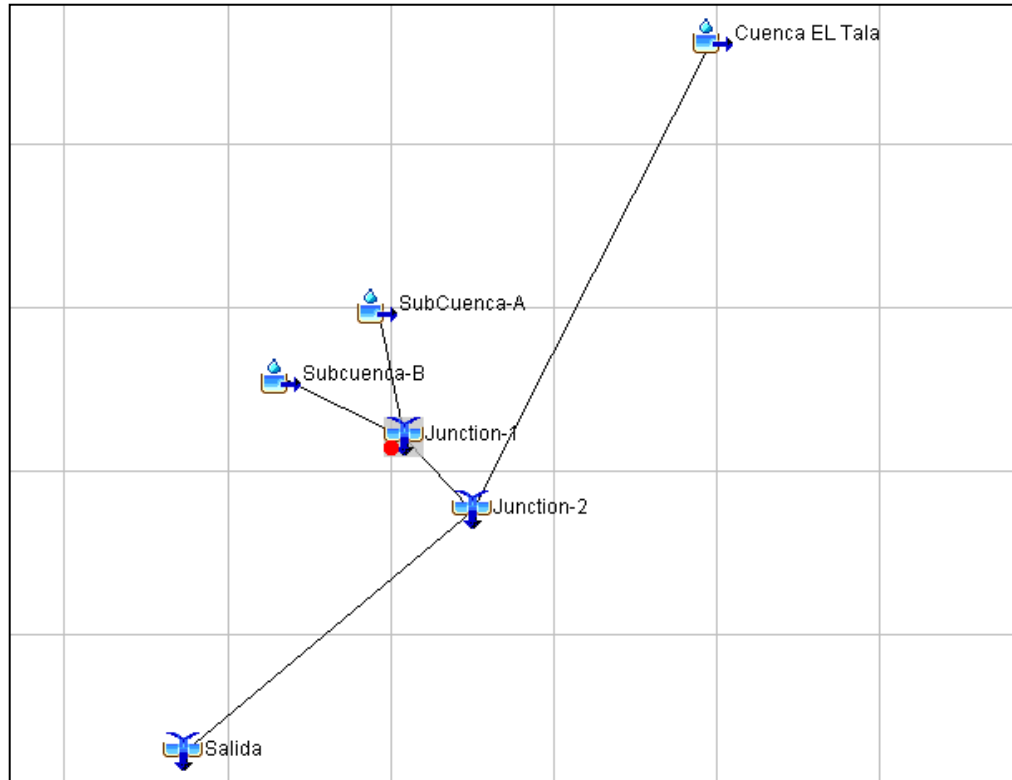


Figura 29: Modelo HEC-HMS empleado en el análisis hidrológico del presente Trabajo.

9.4.1 Esquema de la modelación:

Una vez cargados los modelos y los datos de entrada para cada sub cuenca se procedió a la simulación.

El esquema de Simulación se lo puede describir de la siguiente manera.

Al modelo hidrológico HEC-HMS establecido (Fig. 27) se introdujeron los datos de entradas necesarios para correr la simulación que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 17: Parámetros establecidos para el modelo Hidrológico HEC

Componente	Área km ²	Método de pérdida	Método de Transformación	Loss (CN)	Lag Time (min)
Subcuenca A	3.12	SCS Numero de Curca	SCS Hidrograma Unitario	65	62
Subcuenca B	0.9	SCS Numero de Curva	SCS Hidrograma Unitario	65	30

Se puede observar que para realizar el cálculo de caudales generados por las tormentas ingresadas para cada periodo de retorno, HEC-HMS necesita que se le informe las pérdidas (Loss), que está representado por CN, un método de transformación que para el presente trabajo se seleccionó el método del Hidrograma Unitario SCS y el tiempo de retardo (Lag time).

Este último dato se obtuvo a partir de lo recomendado en el manual del software empleado que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Lag Time} = 0.35 \times \text{Tiempo de concentración.}$$

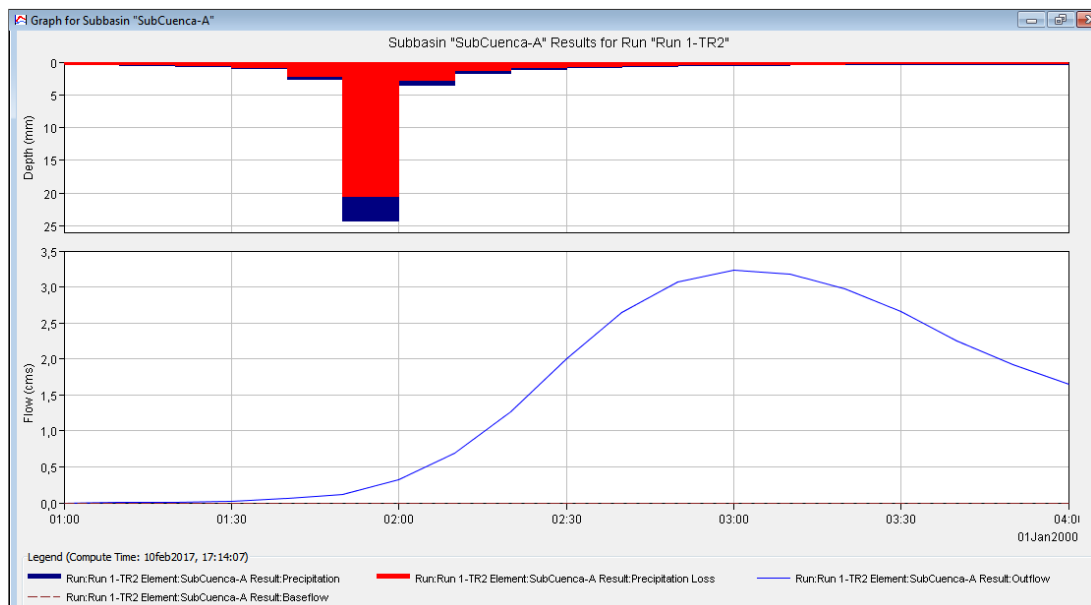
A continuación se muestra un esquema sintético de la simulación realizada en HEC-HMS.

- ⇒ *Introducción del Modelo Meteorológico, se introdujeron los Hietogramas obtenidos para cada periodo de retorno.*
 - ⇒ *Introducción de las especificaciones de control.*
 - ⇒ *Simulación*
 - ➔ **RESULTADOS**

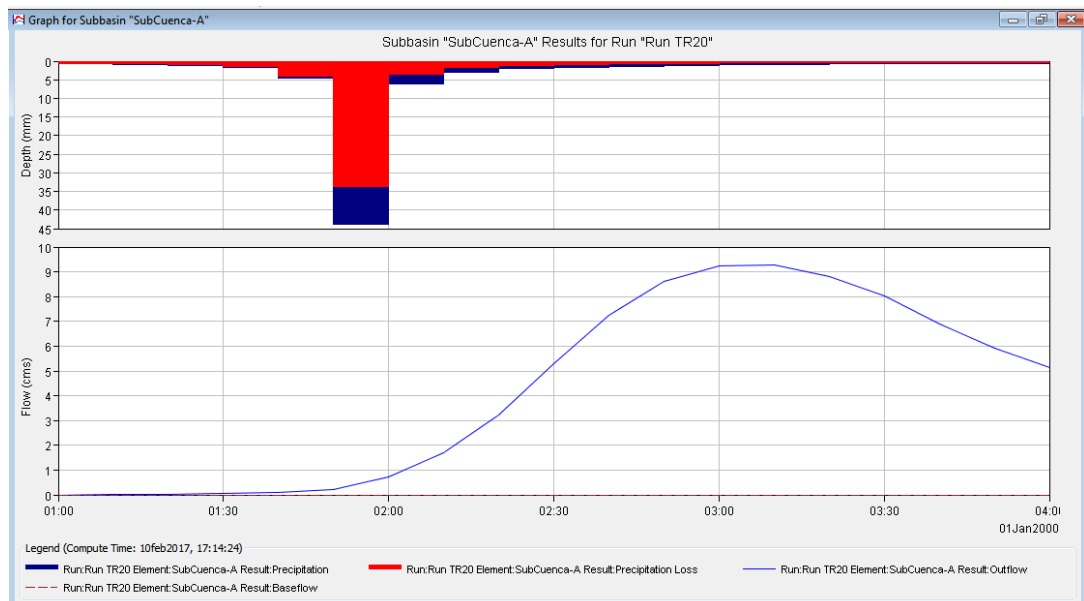
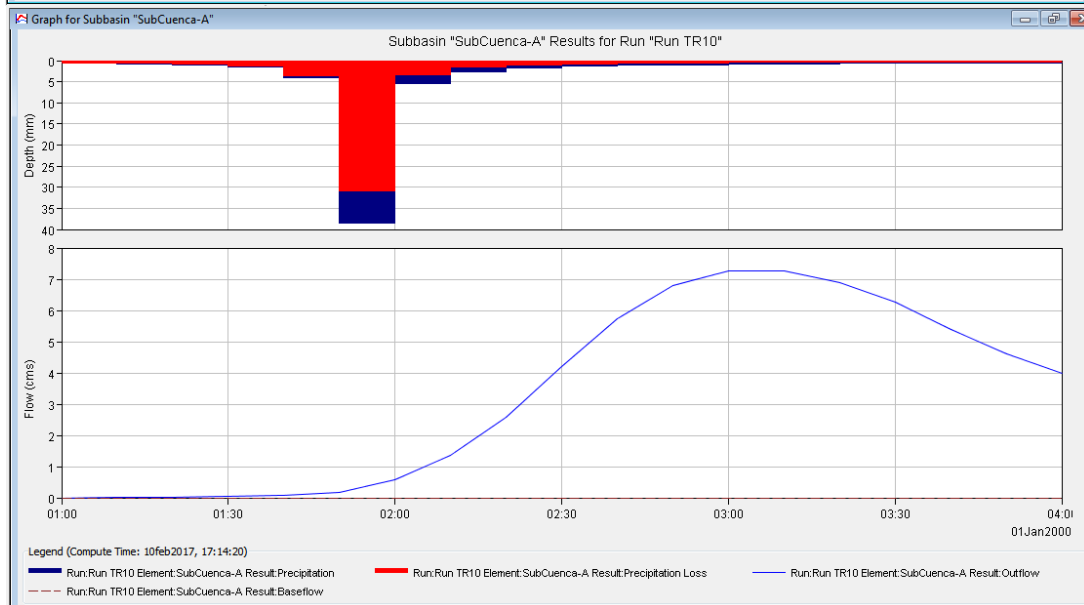
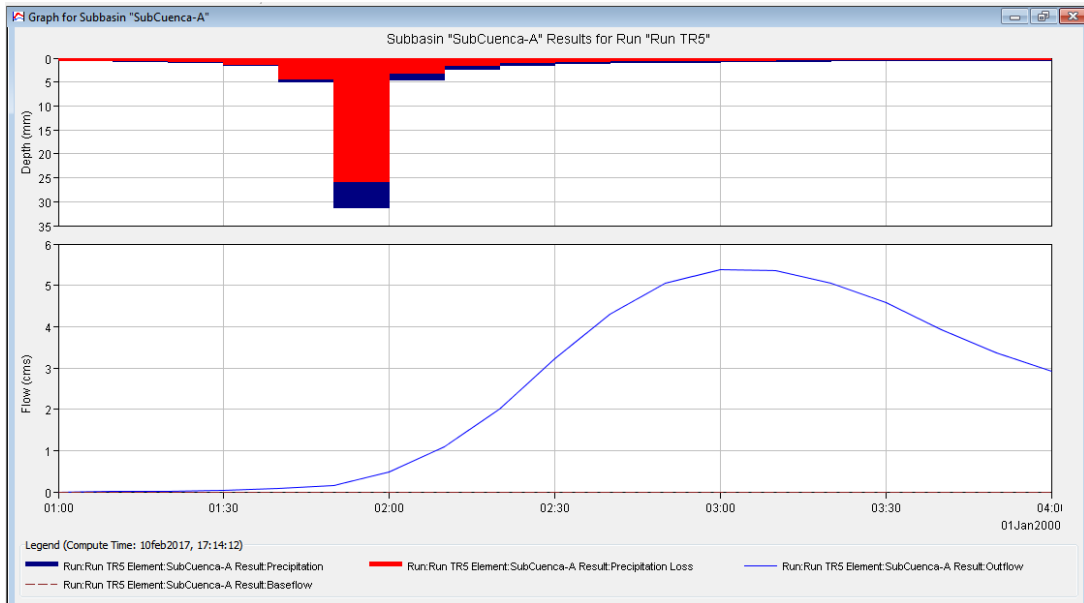
9.4.2 Resultados HEC-HMS

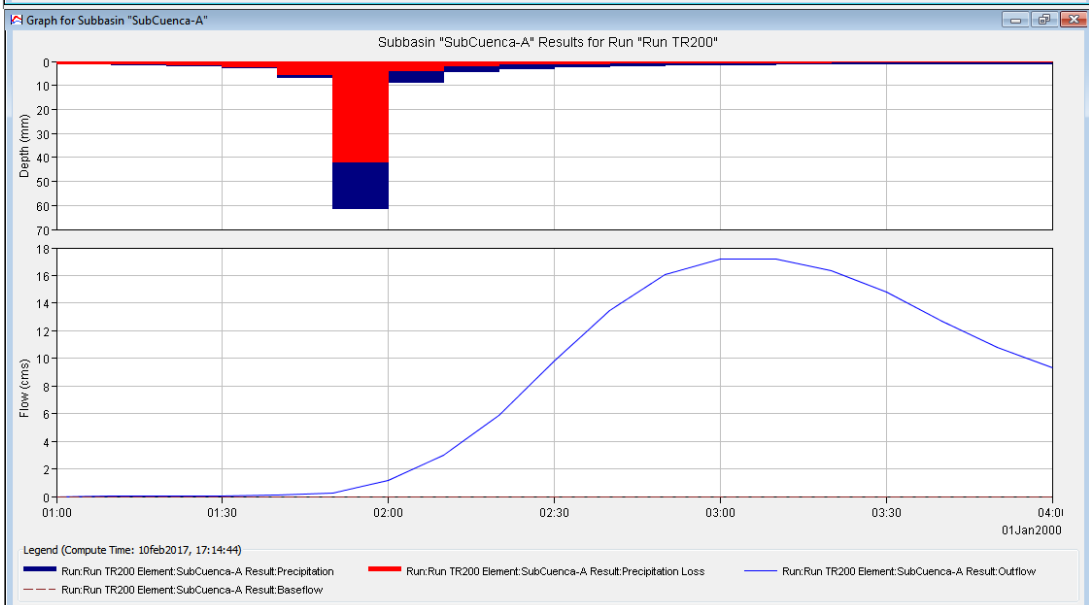
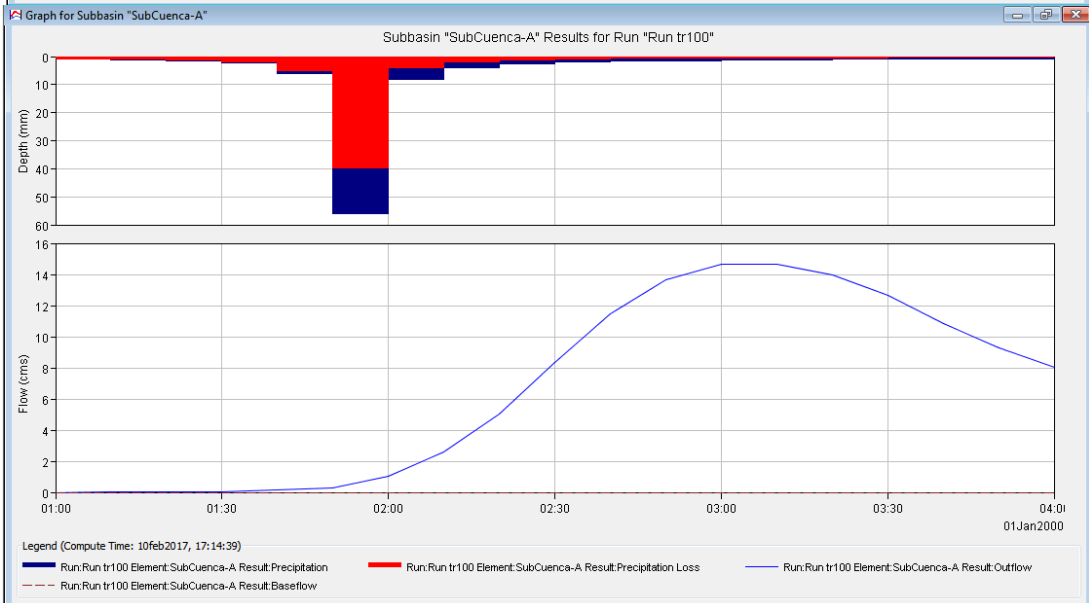
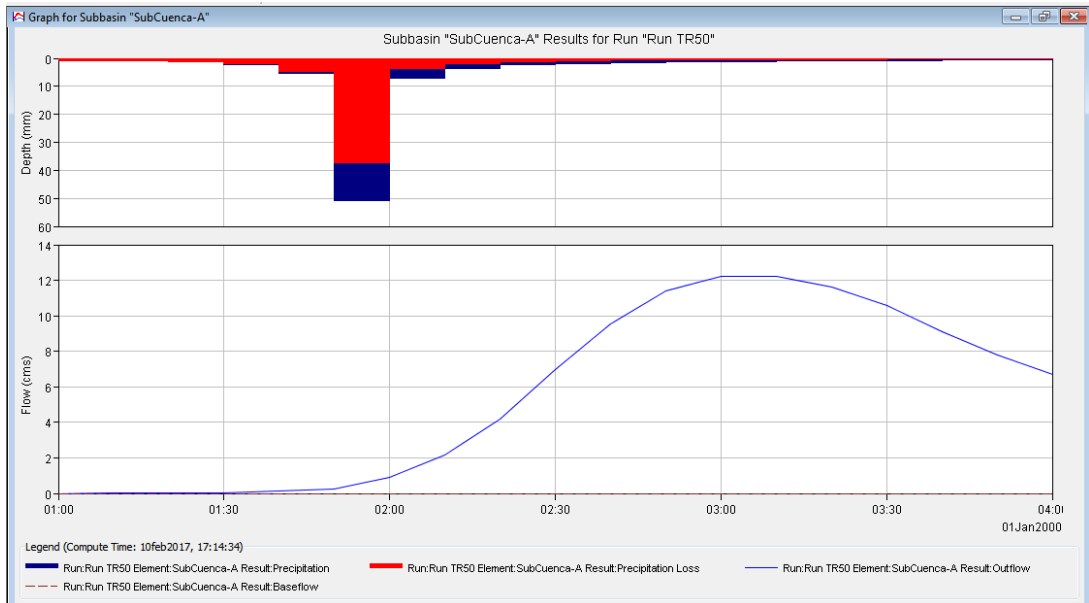
En las siguientes figuras se encuentra el resumen de los resultados obtenidos para cada periodo de retorno con el respectivo Hidrograma Unitario generado. En el anexo II se encuentran las tablas con los datos Hidrológicos de las subcuencas obtenidos por HEC-HMS.

Hidrogramas Cuenca A

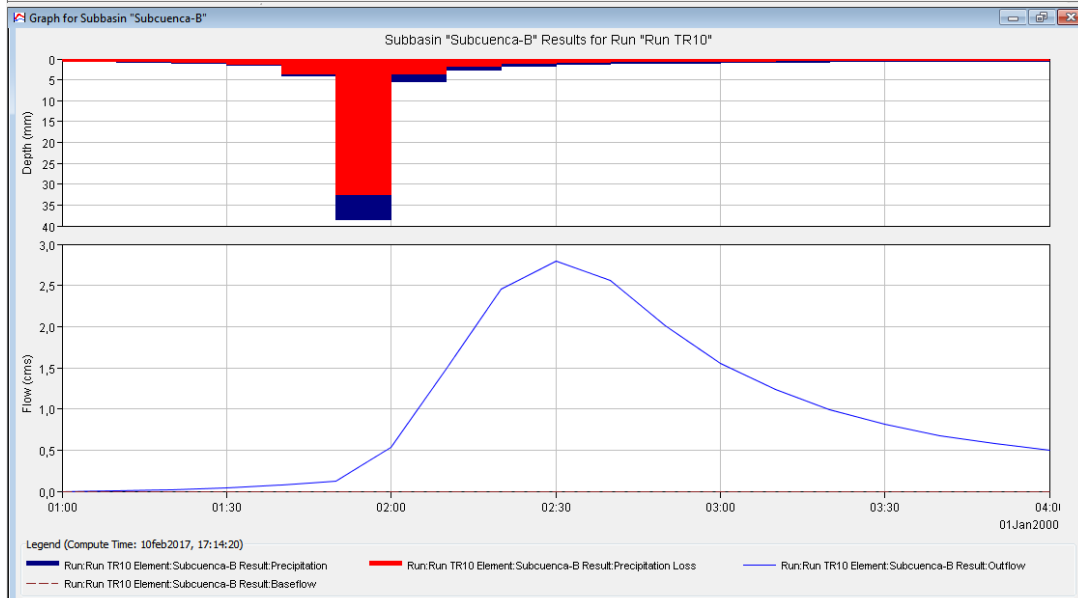
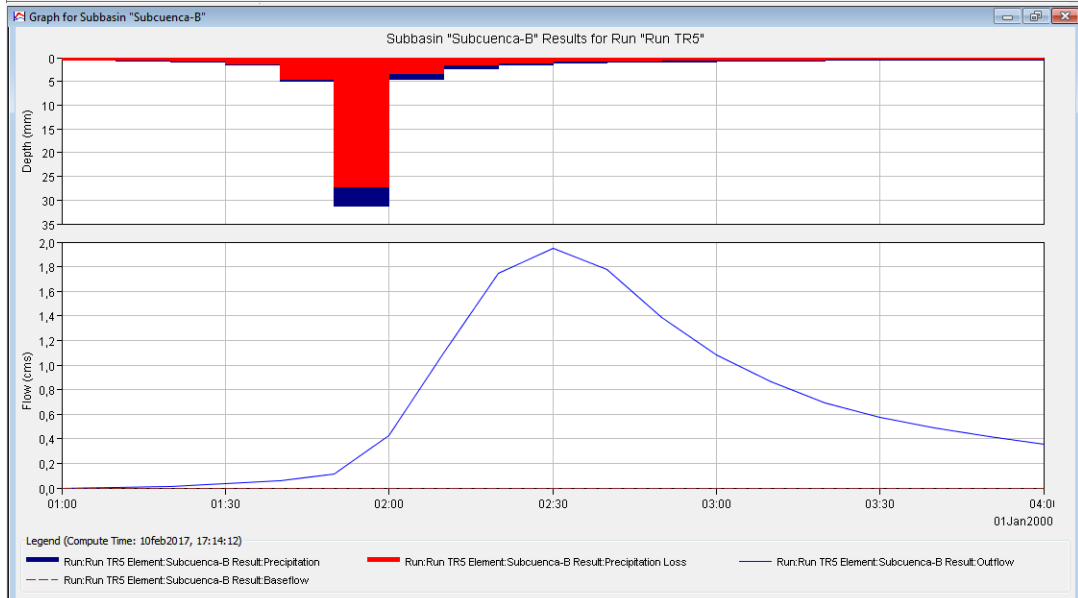
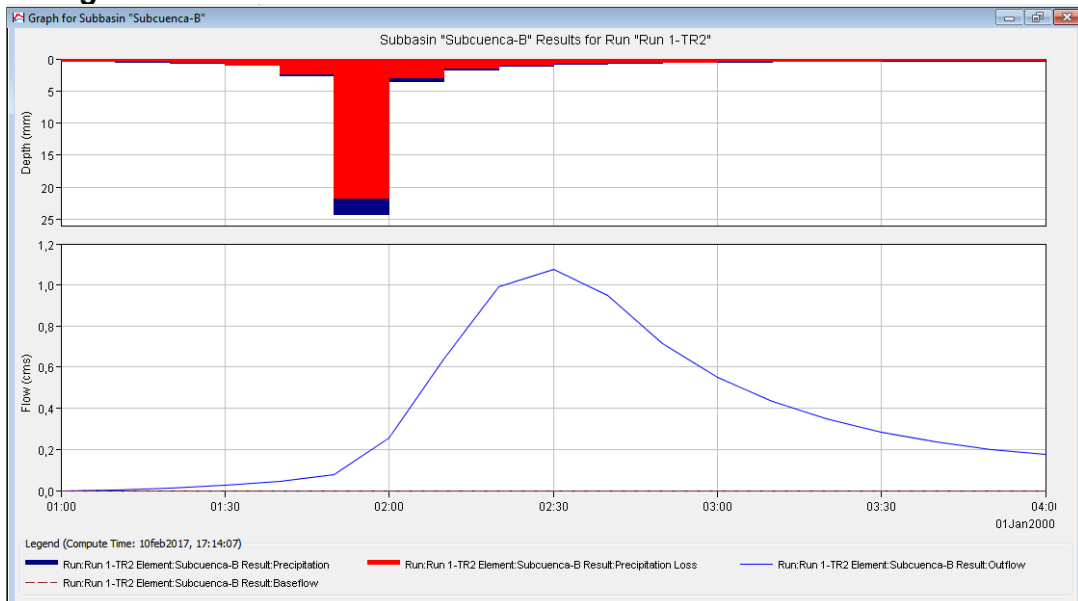


Año 2017

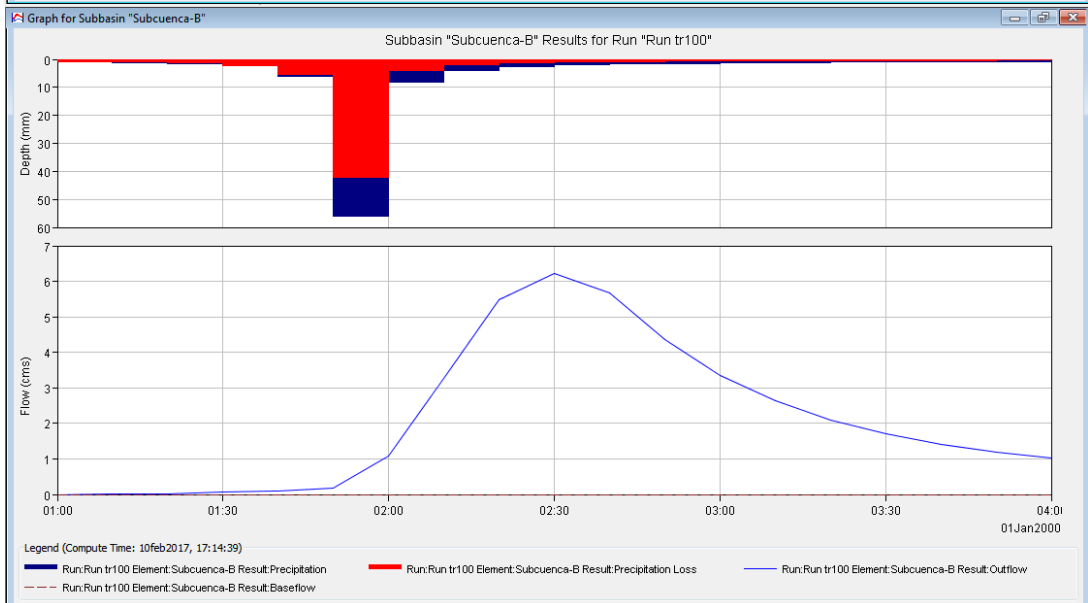
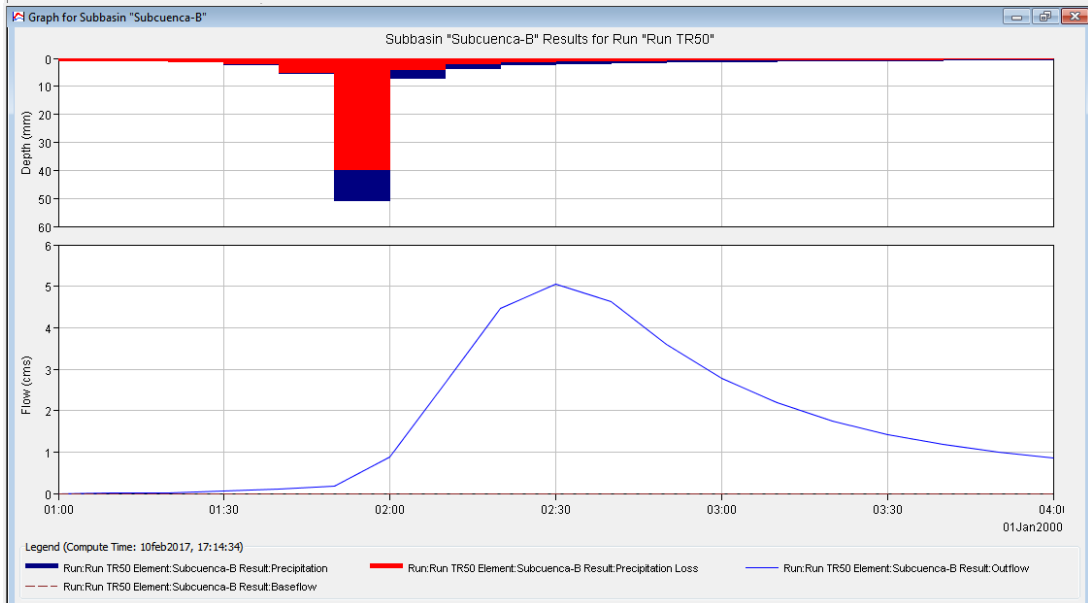
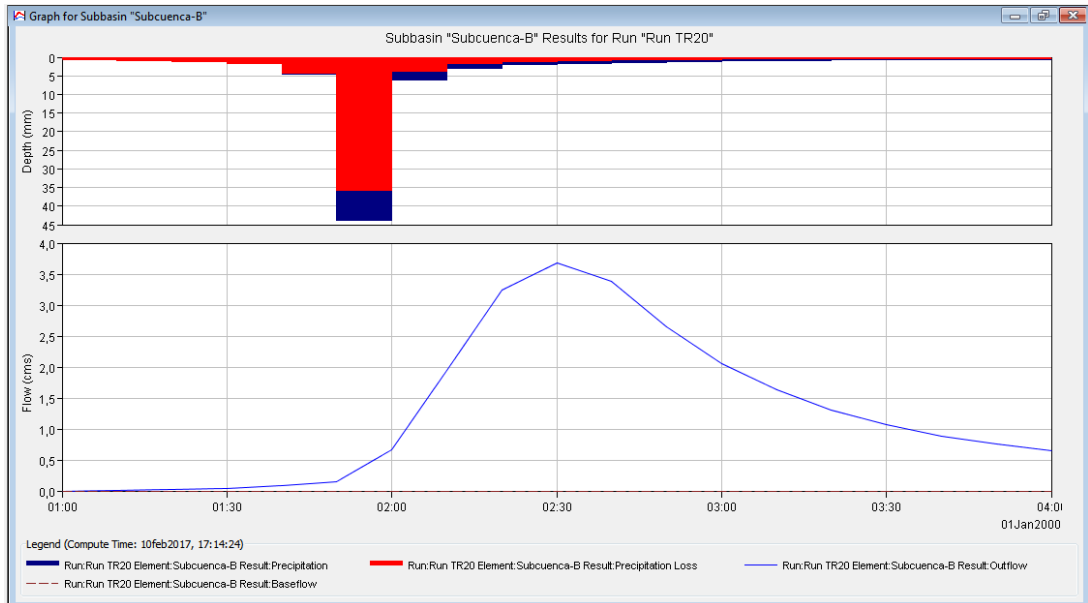


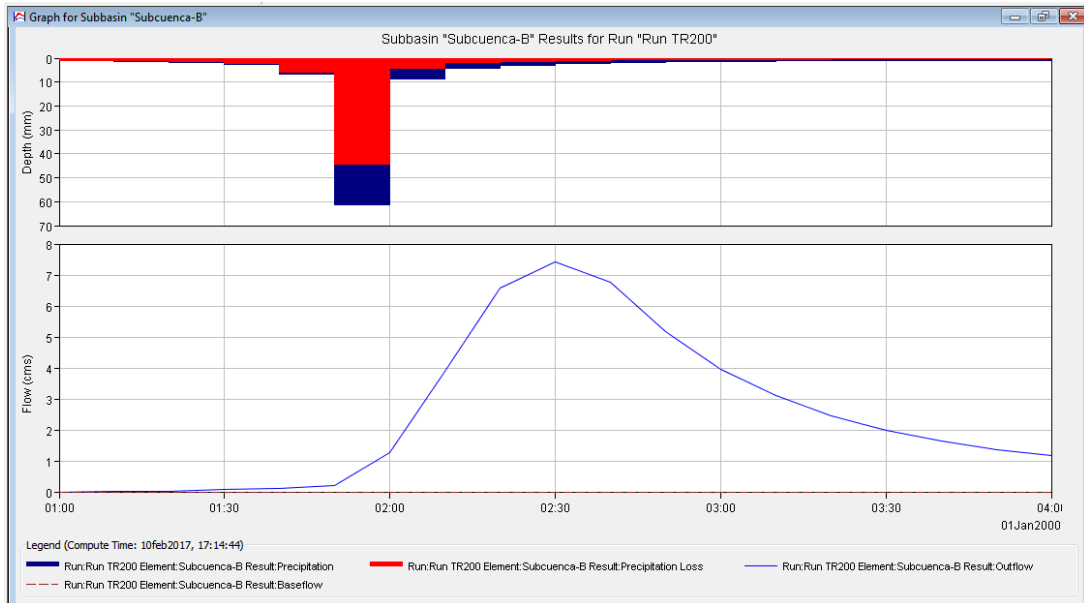


Hidrogramas Cuenca B



Año 2017





Con estas tareas se obtuvieron los caudales máximos esperables en los diferentes periodos de retornos. En la siguiente tabla se presentan los valores de caudales picos para cada tormenta en m³/seg.

Tabla 18: Caudales Máximos obtenidos por la simulación en HEC-HMS, expresados en m³/seg.

Componente	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200
Sub Cuenca A	3.2	5.4	7.3	9.3	12.2	14.7	17.2
Sub Cuenca B	1.1	2	2.8	3.7	5.1	6.2	7.4

9.5 Obtención de caudales picos empleando el Método de la Formula Racional

A los fines de comparar y validar los resultados obtenidos en la simulación hidrológica de HEC-HMS, se empleo el Método Racional.

Este método, es uno de los más antiguos de la hidrología cuantitativa y es útil en cuencas pequeñas menores de 200 km². Es empleado en la actualidad para realizar cálculos de caudales picos en el diseño de alcantarillas, depende de las características de las lluvias en la zona y que la misma pueda ser considerada uniformemente distribuida en el área. La fórmula del Método Racional se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal en m^3/s

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de la lluvia en $mm/hora$

A = Es el área de escurrimiento en hectárea.

Como se puede apreciar las variables empleadas en este método son:

- Área de las sub-cuencas analizadas, las que fueron determinadas en la obtención de los parámetros morfométricos.
- Intensidad de lluvia (I). Obtenidas de las Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) estudio (Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca, 2015), donde a partir del tiempo de retorno obtenido para cada sub-cuenca se seleccionó el valor de (I) (Fig. 28)

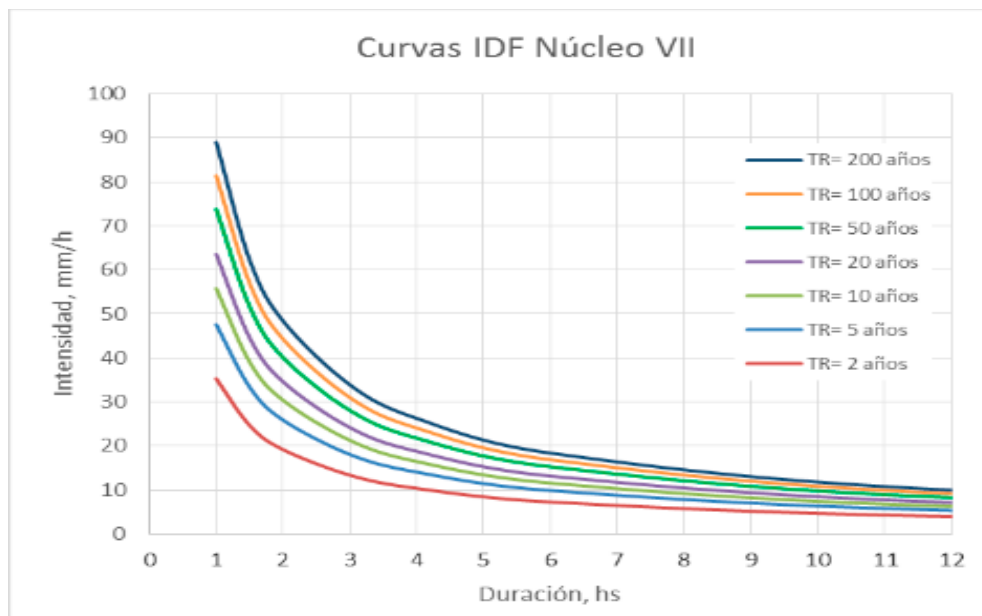


Figura 30: Curvas IDF, “ (Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclin- Catamarca, 2015)”

- Coeficiente de escorrentía. Es un valor adimensional que relaciona la precipitación neta y la porción de escorrentía generada en cada cuenca.

9.5.1 Elección del coeficiente de escorrentía “C”

La elección de los valores del coeficiente “C” de escorrentía es importante en el uso de una fórmula simple como es el caso del método racional. Se define el coeficiente C de una superficie A al cociente del caudal que escurre en una lluvia en esa superficie Q_e , del caudal total de la precipitación Q_T , en otras palabras, es la relación del volumen escurrido superficialmente entre el volumen de lluvia precipitada sobre un área.

Este coeficiente es función de varios factores, varía a través del tiempo de duración de la precipitación y es función de las características del terreno, tipo de suelo, vegetación, permeabilidad y humedad antecedente. Durante una precipitación, la infiltración disminuye y consecuentemente aumenta el valor de C. A los fines de este trabajo y para poder facilitar los cálculos en el empleo de una fórmula simple como la racional, el coeficiente C, se consideró como promedio constante durante la duración de la lluvia.

Existen diferentes autores que proponen valores de C para diferentes situaciones de la cuenca, relacionándolas con las pendientes y los tipos y usos de suelo. En las siguientes tablas se presentan los valores de C propuestos por diferentes autores.

Tabla 19. Valor de C y su relación con la clasificación hidrológica de suelos del SCS (A, B, C, D) y la pendiente del terreno en porcentaje (McCuen, 1998)

Uso del suelo	A			B			C			D		
	0-2%	2-6%	6%+	0-2%	2-6%	6%+	0-2%	2-6%	6%+	0-2%	2-6%	6%+
Cultivado	0.08 a	0.13	0.16	0.11	0.15	0.21	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.31a
	0.14 b	0.18	0.22	0.16	0.21	0.28	0.20	0.25	0.34	0.24	0.29	0.41b
Pastos	0.12	0.20	0.30	0.18	0.28	0.37	0.24	0.34	0.44	0.30	0.40	0.50
	0.15	0.25	0.37	0.23	0.34	0.45	0.30	0.42	0.52	0.37	0.50	0.62
Praderas	0.10	0.16	0.25	0.14	0.22	0.30	0.20	0.28	0.36	0.24	0.30	0.40
	0.14	0.22	0.30	0.20	0.28	0.37	0.26	0.35	0.44	0.30	0.40	0.50
Bosques	0.05	0.08	0.11	0.08	0.11	0.14	0.10	0.13	0.16	0.12	0.16	0.20
	0.08	0.11	0.14	0.10	0.14	0.18	0.12	0.16	0.20	0.15	0.20	0.25
Residencial Lotes 0.05ha	0.25	0.28	0.31	0.27	0.30	0.35	0.30	0.33	0.38	0.33	0.36	0.42
	0.33	0.37	0.40	0.35	0.39	0.44	0.38	0.42	0.49	0.41	0.45	0.54
Lotes menos de 0.1Ha	0.22	0.26	0.29	0.24	0.29	0.33	0.27	0.31	0.36	0.30	0.34	0.40
	0.30	0.34	0.37	0.33	0.37	0.42	0.36	0.40	0.47	0.38	0.42	0.52
Lotes de 0.13Ha	0.19	0.23	0.26	0.22	0.26	0.30	0.25	0.29	0.34	0.28	0.32	0.39
	0.28	0.32	0.35	0.30	0.35	0.39	0.33	0.38	0.45	0.36	0.40	0.50
Lotes de 0.2Ha	0.16	0.20	0.24	0.19	0.23	0.28	0.22	0.27	0.32	0.26	0.30	0.37
	0.25	0.29	0.32	0.28	0.32	0.36	0.31	0.35	0.42	0.34	0.38	0.48
Lotes 0.5 Ha	0.14	0.19	0.22	0.17	0.21	0.26	0.20	0.25	0.31	0.24	0.29	0.35
	0.22	0.26	0.29	0.24	0.28	0.34	0.28	0.32	0.40	0.31	0.35	0.46
Industrial	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.70
	0.85	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.88
Comercial	0.71	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90
Calles	0.70	0.71	0.72	0.71	0.72	0.74	0.72	0.73	0.76	0.73	0.75	0.78
	0.76	0.77	0.79	0.80	0.82	0.84	0.84	0.85	0.89	0.89	0.91	0.95
Parques	0.05	0.10	0.14	0.08	0.13	0.19	0.12	0.17	0.24	0.16	0.21	0.28
	0.11	0.16	0.20	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.32	0.22	0.27	0.39
Estacionamientos	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87
	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97

a) coeficientes C para tormentas de recurrencia de hasta 25 años

b) coeficientes C para tormentas de recurrencias mayores de 25 años

Tabla 20. Grupos hidrológicos del suelo (SCS)

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Arenosa-limosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Tabla 21. Valores de C en función del tipo de superficie. (extractado de Chow et al, 1994)

Descripción del área	Rango de C	Valor recomendado
Centro comercial	0.70-0.95	0.85
Periférico	0.50-0.70	0.60
Residencial		
Casas individuales	0.30-0.50	0.40
Deptos. con espacios	0.40-0.60	0.50
Deptos. Pegados	0.60-0.75	0.70
Suburbano	0.25-0.40	0.35
Departamentos	0.50-0.70	0.60
Industrial		
Poco densa	0.50-0.80	0.65
Muy densa	0.60-0.90	0.75
Parques	0.10-0.25	0.20
Deportes	0.20-0.35	0.30
Baldíos	0.10-0.30	0.20
Carácter de la Superficie	Rango de C	Valor recomendado
Pavimento-Asfalto	0.70-0.95	0.85
Empedrado	0.75-0.85	0.80
Techos	0.75-0.95	0.85
Parques suelo arenoso		
0% - 2%	0.05-0.10	0.08
2% - 7%	0.10-0.15	0.13
Mayor 7%	0.15-0.20	0.18
Parques suelo pesado		
0% - 2%	0.13-0.17	0.15
2% - 7%	0.18-0.22	0.20
Mayor 7%	0.25-0.35	0.30

Tabla 22. Valores de C aumenta con la intensidad de la lluvia y relación con el Tiempo de retorno de la precipitación (extractado de Chow et al, 1994)

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Áreas desarrolladas						
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)						
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)						
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51

Una vez obtenidos las variables de entradas para el método racional se procedió a realizar los cálculos en una planilla del software Excel 2010.

En las siguientes tablas se presentan los resultados del método racional de Caudales Picos (Q), para cada subcuenca estudiada (en azul). En la columna verde se exponen los resultados de la simulación con HEC-HMS a modo de comparación.

Cuenca A Tiempo de concentración Kirpich = 1.03 horas							
	Q: M. Racional (m ³ /Seg)	C	I	A	Q: HEC – HMS (m ³ /Seg)	Error Abs.	Error %
TR2	4.2	0.14	35	312	3.2	-1.0	-32.71
TR5	5.8		48		5.4	-0.4	-7.85
TR10	6.7		55		7.3	0.6	8.58
TR20	7.6		63		9.3	1.7	17.81
TR20'	9.8	0.18	63		9.3	-0.5	-5.68
TR50	11.2		72		12.2	1.0	7.93
TR100	12.8		82		14.7	1.9	12.98
TR200	14.0		90		17.2	3.2	18.37

Tabla 23: En azul, resultados del método racional para la sub cuenca A

Cuenca B. Tiempo de concentración Kirpich = 0.5 horas							
	Q: M. Racional	C	I	A	Q: HEC - HMS	Error Abs.	Error %
TR2	1.4	0.16	35	90	1.1	-0.3	-27.27
TR5	1.9		48		2	0.1	4.00
TR10	2.2		55		2.8	0.6	21.43
TR20	2.5		62		3.7	1.2	32.97
TR20'	3.1	0.2	62		3.7	0.6	16.22
TR50	3.7		74		5.1	1.4	27.45
TR100	4.1		82		6.2	2.1	33.87
TR200	4.5		89		7.4	3.0	39.86

Tabla 24: Resultados del método racional para la sub cuenca B

9.6 Consideraciones preliminares

Se puede observar que los valores obtenidos por el método racional presentan desvíos en los extremos de los tiempos de retornos los TR 2, TR 100 y TR 200, con respecto a los obtenidos por HEC-HMS.

El empleo del método racional contribuyó a la validación de los resultados de HEC-HMS, se observan desvíos mayores al 20% en los extremos de los tiempos de retorno de las precipitaciones, esta situación se atribuye a que las tablas empleadas para la elección de C, en el método racional contemplan solo unos pares de las variables involucradas en la formación de escorrentía en una cuenca. Las tablas habituales para estimar coeficientes de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura o en otro caso también lo hacen depender de la pendiente y del periodo de retorno, en contraste con el número de curva (CN), que involucra mas variables, como el tipo de suelo, la vegetación existente, forma y condición del terreno, etc.

Los resultados obtenidos por ambos métodos nos entregan los caudales máximos que generarían las tormentas en los diferentes periodos de retorno.

Los hidrogramas unitarios generados por HMS, muestran que para el caso de la cuenca A, el caudal pico se genera aproximadamente a los 60 minutos del pico de la precipitación efectiva, y en el transcurso de los próximos 60 minutos el caudal disminuye a la mitad. En el hidrograma de la cuenca B, el gasto máximo se produce 30 minutos después de alcanzado el pico de la precipitación efectiva, disminuyendo a la mitad el caudal aproximadamente a los 60 minutos.

10 EVALUACIÓN CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LAS ALCANTARILLAS

Como se puede observar en los títulos precedentes y, principalmente, la Figura 10 en el complejo habitacional Valle Chico, producto de que la zona es atravesada naturalmente por cursos aluviales, se han construido obras para la conducción de los flujos, la cuales corresponden a alcantarillas, badenes y canalización.

A la hora de plantear el diseño de una obra que conduzca el caudal de un cauce natural de un lado al otro de un camino, se deben tener en cuenta diferentes factores de los cuales se destacan los siguientes: el caudal, características del flujo, factores geométricos e hidráulicos de la sección, materiales de revestimiento, la topografía existente, la geología y geotecnia de la zona. Además de los materiales disponibles en la zona, costos de materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, tecnología actual, optimización económica, socioeconomía de los beneficiarios, climatología, altitud, etc.

En el presente trabajo, a partir de los valores de caudales obtenidos en capítulos anteriores, en este apartado se evalúa la capacidad de respuesta de la obra civil ante un evento de precipitación, o más precisamente las alcantarillas construidas para el paso del flujo de los canales A y B, (zonas identificadas como potenciales amenazas hídricas), lo que deriva pragmáticamente a determinar si poseen las dimensiones y características hidráulicas adecuadas para transportar el caudal determinado para los cauces anteriormente citados.

Para realizar esta evaluación se realizó el relevamiento de las obras, que permitieron elaborar perfiles transversales para representar los componentes geométricos del canal y a partir de ellos, calcular las variables hidráulicas condicionantes al funcionamiento de la obra.

Durante las visitas de campo se realizaron mediciones con cinta métrica, y para la determinación de la pendiente del canal se utilizó manguera transparente cargada con agua, de la misma manera se procedió para la evaluación de la pendiente de los cauces, desarrollado en el [Capítulo 7](#). Los datos fueron procesados en AutoCAD 2010, Figura 29.

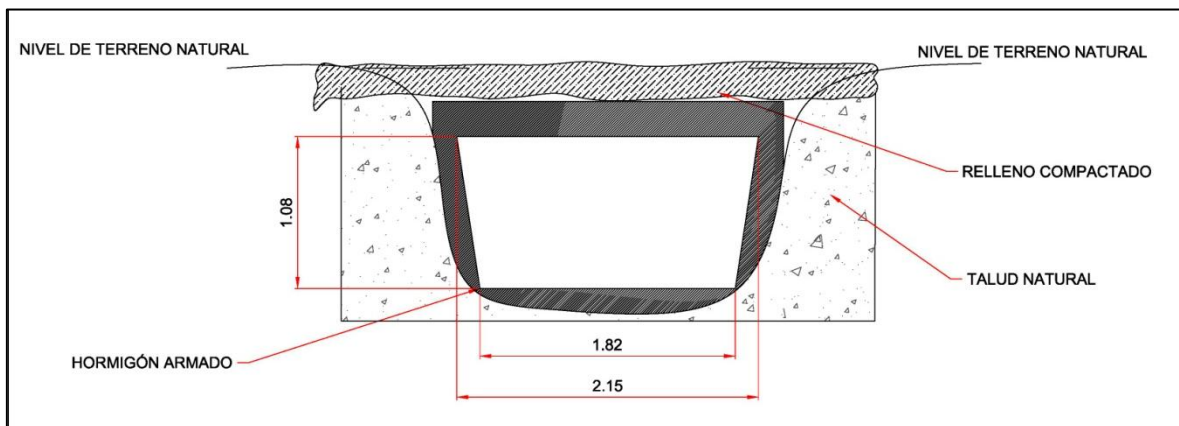


Figura 31. Perfil transversal de las alcantarillas construidas en la zona de estudio. Acotada en metros.

A partir de la geometría de la alcantarilla se obtuvieron las características hidráulicas de cada alcantarilla, a partir de lo cual se pudo realizar una estimación del caudal máximo que permitirá conducir sin que se produzcan desbordes o procesos de erosión que puedan afectar obras civiles o actividades humanas.

Para conocer este valor se empleó la fórmula de Manning de la misma manera que se procedió en para la obtención de los caudales de los cauces en función de su morfología, para ello se determinó el área y perímetro mojado de la sección empleando herramientas de AutoCAD 2010. Una vez obtenidos estos datos, y teniendo la pendiente que se levantó en determinaciones de campo, se volcaron las variables en la hoja de cálculo de Microsoft Excel donde se realizaron los cálculos para la obtención del caudal máximo que permite el escurrimiento en dicha alcantarilla (Figura 31).

1	Formula de maning para calculo de velocidad de la corriente en m3/s		Relevamiento de Campo:	Sección con marcas de inundación	
2					
3	$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$	V= velocidad me la corriente en m/s	Datos de medicion pte media	Largo de medicion: 15m	
4		R=radio hidraulico		desnivel: 0.25 m	
5		S= pendiente media del canal en metros por metro			
6		n= Coeficiente de de rugosidad de Maning.			
7			Pendiente media m/m	0.02	
8			Pendiente media %	2%	2
9			Perimetro mojado (lab)	4 m	
10			perimetro mojado (cam)	3.96 m	
11			Area de la seccion (lab)	2.15	m2
12			Radio Hidraulico	0.5375	
13	RH= A/Pm				
14	A= area				
15	Pm= Perimetro Mojado				
16					
17					
18	R ^{2/3} =	0.6610774			
19	S ^{1/2} =	0.14142136			
20	n=	0.017	Q=VxA		
21					
22	V=	5.499439	Q=	11.8237938	m3/seg
23					
24					

Figura 32. Datos obtenidos para las alcantarillas.

El dato del Coeficiente de Rugosidad de Manning, se obtuvo de la tabla propuesta por Ven Te Chow, Ph.D, 1994, para materiales artificiales.

Tabla 25. Coeficientes de rugosidad de Manning p propuesta por Ven Te Chow, Ph.D, 1994, para diferentes tipos de materiales

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.010	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	0.010	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
e. Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

Para el presente caso analizado se considero un valor de $n=0.17$, propuesto para concretos armados con encofrado de maderas. La presencia de obstáculos tales como troncos de árbol, desechos de flujo, atascamientos, alcantarillas, pilas de puentes y estructuras similares, tienden a incrementar el valor de n , el cual depende de la naturaleza de la obstrucción, de su tamaño, forma, número y distribución a lo largo y ancho del canal, estas situaciones modifica radicalmente el caudal capaz de transportar la obra analizada.

10.1 Consideraciones preliminares

Como resultado del análisis presentado en este capítulo se puede concluir que las alcantarillas permiten el paso de un caudal aproximado $11.8 \text{ m}^3/\text{seg}$, y una velocidad de flujo de $7 \text{ m}/\text{seg}$.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Plano de aéreas bajo amenaza hídrica

Luego del análisis de la información precedente se confeccionó un plano donde se marcan las zonas sujetas a amenazas. Estas amenazas corresponden a procesos erosivos, que podrían ocasionar la ruptura de las obras viales, a demás en el caso de los cruces alcantarillados y canalizados existe la posibilidad de anegamientos de calles temporales en esas zonas producto de desbordes. Las mismas se detallan a continuación.

Zona 1: Corresponde a cruce de alcantarilla del cauce A, con Avenida 2.

Zona 2: Esta área se encuentra marcada sobre Avenida 2, asociada a los paleo cauces que fueron formadores del deposito pedementano.

Zona 3: Esta zona se encuentra situada sobre Avenidas 1 en intersección con avenida 15. Las zona de amenaza se distingue debido a posible erosión ocasionada por el rio El Tala-Ongolí debido a la proximidad de las obras con la zona de máxima energía el meandro que forma el rio en este sector.

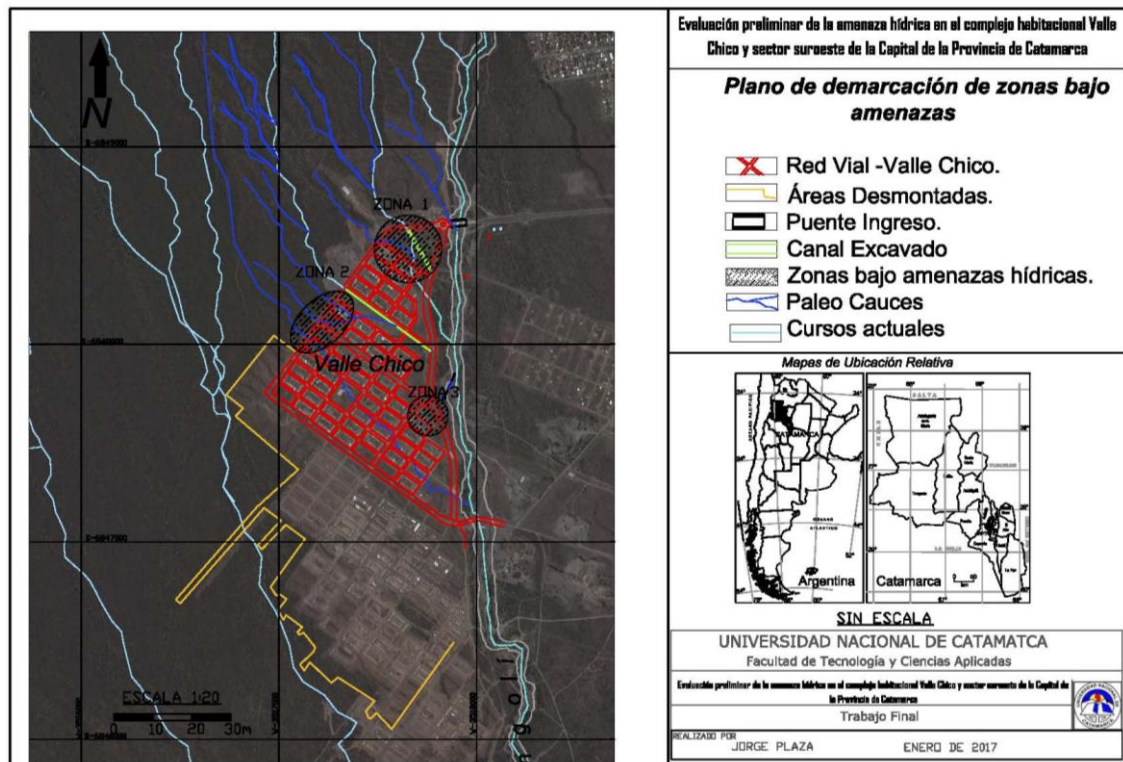


Figura 33: Plano de zonas bajo amenazas hídricas.

11.2 Conclusiones

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de los resultados hidrológicos e hidráulicos obtenidos por los diferentes métodos empleados en el presente trabajo.

Tabla 26. Resumen de resultados por los diferentes métodos empleados.

Alcantarillas (Formula de Manning)	Caudales máximos= 11.8 m ³ /seg							Radio Hidráulico= 0.54							Vel. De Flujo = 7.1 m/seg.	
Método Canadiense.	Caudal de creciente extraordinaria= 11.904 m ³ /seg.														Velocidad Máxima de Flujo: 2.4	
	Caudales Método Racional (m ³ /seg) (Método empírico - Morfológico)							Caudales HEC-HMS (m ³ /seg) (Modelo Matemático)							Caudal Manning (Morfológica de Cauce)	Vel. de Flujo Manning
	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200		
Cauce A	4.2	5.8	6.7	9.8	11.2	12.8	14.4	3.2	5.4	7.3	9.3	12.2	14.7	17.2	11.9 m ³ /Seg	1.86 m/seg
Cauce B	1.4	1.9	2.2	3.1	3.7	4.1	4.5	1.1	2	2.8	3.7	5.1	6.2	7.4	N/E	N/E
N/E= No establecido por no contar con evidencias de de alturas de escorrentía.																

Las conclusiones obtenidas se enumeran a continuación.

- En el área donde se construyó el Complejo Habitacional Valle Chico, es atravesada por dos cauces (denominados en este trabajo A y B), los cuales fueron identificados como potenciales amenazas hídricas, por procesos naturales asociados a desbordes y erosión. Los principales puntos de amenazas lo conforman los cruces de los cauces A y B con las Avenidas 1 y 2 del Complejo Habitacional.
- Los cauces A y B son del tipo aluvial y de régimen no permanente.
- Los cauces A y B pertenecen a dos subcuencas pequeñas, cuyas pendientes se disminuyen a medida que se acercan al piedemonte, zona de urbanización de Valle Chico.
- Los caudales calculados en este trabajo a través de diferentes métodos, dan cuenta que contemplan volúmenes de flujo conformado casi exclusivamente de agua y no consideran el volumen de la carga sólida, compuesta por estrato vegetativo y sedimentos del tipo fanglomerado (rodados y finos). Composición típica de los flujos de crecida a partir de la socavación de los márgenes del cauce, proceso verificado analítica y empíricamente.
- El lecho principal del cauce B, se encuentra obstruido por el acopio de material de rechazo (rodados mayores a 30 mm) en la extracción de áridos para la obtención de material de base, situación que incrementa la amenaza, por la disponibilidad de material de arrastre.
- El empleo del MDE AsterGDEM, con resolución de 30m, fue validado y ajustado hidrológicamente, lo cual permitió la delimitación de las subcuencas y el cálculo de los respectivos parámetros morfométricos mediante la utilización de herramientas informáticas propias de un SIG.
- El empleo del software HEC-HMS, con la información generada en el presente trabajo y la preexistente permitió cuantificar los caudales que se generarían en los cauces A y B, en los diferentes tiempos de retorno, a través de modelación Matemática.

- La utilización de la fórmula racional y método canadiense -ambos empíricos mediante parámetros morfométricos- permitió comparar los caudales obtenidos en HEC-HMS -modelo matemático- para los mismos periodos de retorno, lo que permitió validar el uso de ambas metodologías para el cálculo de caudales, en ambos casos las variables han sido determinadas con criterio geológico.
- A partir de la aplicación del método sugerido “Forest practices code of British Columbia” se determinó que la creciente extraordinaria relevada el 13 de enero de 2016 tuvo la velocidad del flujo capaz de erosionar el material de las márgenes del cauce, la cual correspondería al caudal recurrente cada 100 años, la cual puso en evidencia el subdimensionamiento de las alcantarillas 1 del cauce A (Figura 13).
- Las obras de alcantarillado y canales carecen de mantenimiento y el lecho de los cauces A y B no presentan limpieza del material de crecidas, situación que ha ocasionado el aumento de la peligrosidad por anegamiento, inundación, erosión hídrica y daños a los accesos y viviendas.
- Las obras de conducción pluvial (alcantarillas) poseen dimensiones hidráulicas para transportar un flujo de agua libre de sólidos que permitan guiar los caudales máximo esperados hasta un periodo de retorno de 50 años, para el cauce A, y 200 años para el cauce B. En las fotografías se registran que las obras de conducción se encontraban obturadas por residuos, sedimentos y vegetación provenientes de crecidas lo cual impide su adecuado funcionamiento con los consecuentes desbordes y complicaciones en los accesos y viviendas.
- Sobre las alcantarillas se observó carencia de mantenimiento de las obras y limpieza de los cauces, aguas arriba y abajo de la obra.
- La escases de datos históricos de precipitaciones e información topográfica existente en la zona de estudio no permiten calibrar el modelo matemático de HEC-HMS, lo que hace que su aplicación sea limitada, por tal motivo es necesario el empleo de otros métodos, con variables empíricas y criterio geológico, para estimar el comportamiento hidrológico de las subcuencas ante eventos extraordinarios de precipitaciones.

11.3 Recomendaciones

- Implementar métodos que utilicen variables empíricas y criterios geológicos para la determinación de las zonas inundables, diferentes a las predicciones obtenidas mediante los modelos matemáticos, las que se convierten en poco fiables ante la carencia de datos de base. Los métodos aquí utilizados: Fórmula de Manning, Método Canadiense y Fórmula Racional, han demostrado sus aceptables resultados, particularmente en los tipos de cauces existentes en la provincia, característicos y representativos de procesos asociados a torrentes de montaña.
- Realizar limpieza del lecho ordinario de los cauces A y B en dos circunstancias: (i) regularmente dos veces al año, antes del periodo lluvioso y una vez concluido el mismo y (ii) luego de crecientes con caudales que superen los 5 m³/s (TR-5 años) a efectos de extraer los materiales acumulados para la libre circulación del flujo.
- Rediseñar la red de drenaje pluvial considerando los caudales obtenidos, características del flujo y necesidades de mantenimiento y limpieza.

Año 2017

Instalar una red de estaciones meteorológicas en la cuenca el Tala-Ongolí, a efectos de tener datos de las variables meteorológicas para ajustar las predicciones actuales. Situación relevante al considerar los actuales trabajos de desmontes destinados a la ampliación de la urbanización, al sureste del área de estudio.

TRABAJOS CITADOS

(23 de Diciembre de 2013). Obtenido de La Unión Digital:

<http://www.launiondigital.com.ar/noticias/107821-catamarca-supero-promedio-anual-lluvias-y-se-esperan-mas-precipitaciones>.

(01 de Noviembre de 2015). Obtenido de El Ancasti Digital: <http://www.elancasti.com.ar/politica-economia/2015/11/1/advierten-sobre-irregularidades-falencias-ciudad-satelite-278007.html#>.

(23 de Febrero de 2016). Obtenido de El Ancasti Digital: <http://www.elancasti.com.ar/info-gral/2016/2/23/otra-problemas-lluvia-ciudad-satelite-289311.html>.

(25 de Febrero de 2016). Obtenido de El Ancasti Digital: <http://www.elancasti.com.ar/info-gral/2016/2/25/una-lluvia-fuerte-sierra-ambato-impactaria-directamente-ciudad-satelite-289566.html>

(05 de Marzo de 2016). Obtenido de El Ancasti Digital: <http://www.elancasti.com.ar/info-gral/2016/3/5/por-lluvia-recien-pudimos-dormir-cinco-manana-290555.html>

Báez, G., Eremchuk, J., & Ojeda, J. (1999). Diagnóstico sobre el Problema Ambiental en el Área del Gran Catamarca. *I Congreso Regional del NOA y su Medio Ambiente* .

Blasco, G., Caminos, R., Lapido, O., Lizuaín, A., Martínez, H., Nullo, F., y otros. (1995). *Hoja Geológica San Fernando del Valle de Catamarca*. CABA: SEGEMAR.

Cabrera, A. (1971; 1994). *Regiones fitogeográficas argentinas*. CABA: Boletín Sociedad Argentina de Botánica.

Carmona Gonzales, E. A. (2009). *Hidráulica de Canales Abiertos - Compendio*. Mexico D. F. : Tesis de Grado .

Chow, V. T., Maidment, R. D., & Mays, L. W. (1984). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw-Hill.

Daus, F. A., García Gache, R., & Cantos, J. (1945). *Geografía de la República Argentina*. CABA: A. Estrada.

(2015). *Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín- Catamarca*. Catamarca: Instituto Nacional del Agua (INA).

Dueñas, C. (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones*. Cámara del Senado. Madrid, Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones. . Madrid: Cámara del Senado. Madrid.

Eremchuk, J. (2000). *“Geología urbana y ambiental de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca*. Catamarca: Editores Argentina.

Feldman. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. 157.

Feldman. (2000). <http://scielo.sld.cu>. Recuperado el 2016

- Fiambalá Digital*. (28 de Agosto de 2013). Obtenido de Fiambalá Digital:
<http://www.fiambaladigital.com.ar/sitio/octavio-gutierrez-defendio-la-ciudad-satelite/>
- Gonzales Bonorino, F. (1978). *Hoja 14f San Fernando del Valle de Catamarca*. CABA: Servicio Geologico Nacional.
- INA. (2015). *Delimitacion de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos el Tala y Paclín*. Catamarca: Instituto Nacional del Agua.
- Maidment, D., & Djokic, D. (2000). *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems*. Esri Press.
- Martinez Mechon, M., & Alonso Sarría, F. (2003). *Validación de la Extracción Automática de Cauces y Cuencas con SIG*. Murcia: Departamento de Geografía Física - Universidad de Murcia.
- McCuen, R. H. (1998). *Hydrologic Analysis and Design, 2da Edición*. New Jersey.
- National Library of Canada Cataloguing in Publication Data. (2002). *Forest Road Engineering*. Province of British Columbia.
- Navarro, H. E. (1993). *Geografía de Catamarca*. Mendoza: Enciclopedia Guinez.
- O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). *The extraction of drainage networks from digital elevation data*. Academic Press.
- Rodriguez, D. M. (17 de Julio de 2012). Obtenido de Stio Web de INTA:
<http://inta.gob.ar/documentos/caracteristicas-suelos-de-catamarca>
- Telam. (08 de Enero de 2016). Obtenido de Agencia Nacional de Noticias :
<http://www.telam.com.ar/notas/201601/132456-temporal-lluvias-catamarca-crecida-de-rios.php>.
- Télam. (13 de Enero de 2016). Obtenido de Agencia Nacional de Noticias:
<http://www.telam.com.ar/notas/201601/132955-catamarca-crecida-rios-alerta-lluvias.php>.
- Tribe, A. (1992). Automated recognition of valley heads from digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms* , 33 - 49.
- Vigo, M. (2010). *Propuestas para el diseño urbano bioambiental en zonas cálidas semiáridas : caso área del Gran*. Catamarca: Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca.

Agradecimientos

Quiero agradecer el apoyo recibido por parte de

- ∅ Mis Directores de Tesis,
- ∅ Mis compañeros de trabajo de SMGA.
- ∅ Alfredo por colaborarme con la impresión.
- ∅ Las profes Fátima y Norita por su predisposición siempre
- ∅ Al tribunal por la paciencia
- ∅ A mi familia, mis tíos y primos por el aguante y sus consejos.

Anexo I

Cartografía