

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO

***“Hidrología aplicada en arroyos efímeros,  
modelación hidrodinámica y estudio de transporte  
de sedimentos en eventos torrenciales- Valle Inferior  
del Rio Chubut (Prov. del Chubut).”***



**CARRERA**

INGENIERÍA CIVIL CON ORIENTACIÓN EN  
HIDRÁULICA

**CÁTEDRA**

PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

**ALUMNO**

WALKER, DIEGO EZEQUIEL

**TUTORES**

TUTOR EXTERNO: DR.ING. KALESS, GABRIEL  
TUTORA ACADÉMICA: DRA.ING. BRANDIZI, LAURA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
TRELEW- CHUBUT  
AÑO 2022

**Resumen:**

En la presente práctica profesional supervisada se propone explorar los métodos indirectos de determinación de caudales producto de las descargas generadas en una de las principales cuencas productoras de esorrentía y de sedimentos al Rio Chubut, y se analiza la respuesta de dicha cuenca en lo correspondiente al arrastre de sedimentos, metodologías para el relevamiento en campo, superficies inundables, toma de muestras y ensayos de laboratorio.

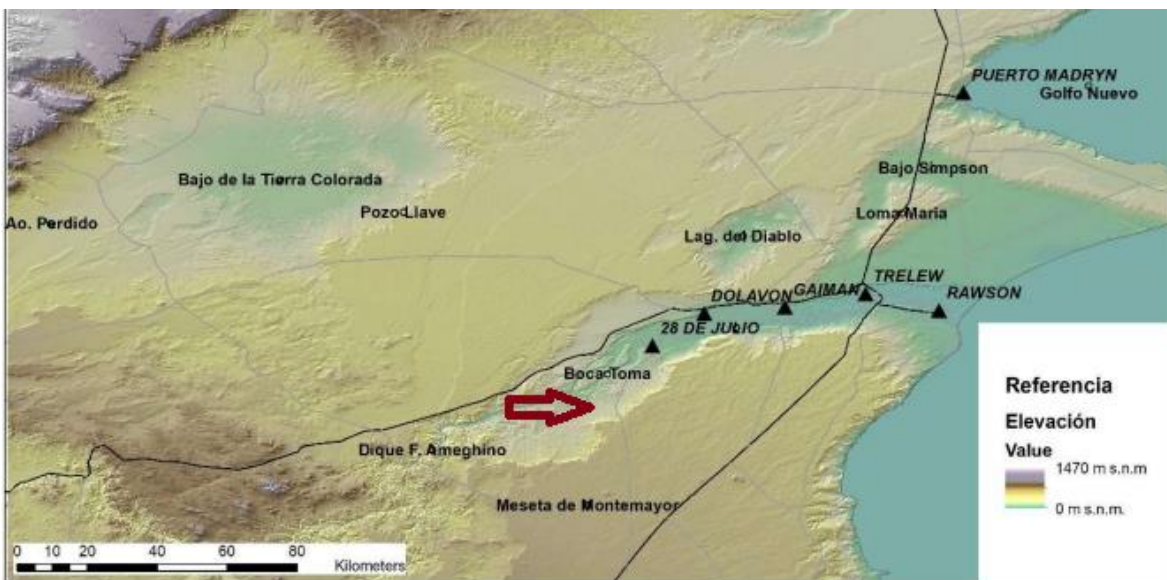
Para ello se realizan numerosos relevamientos en campo de la zona a estudiar y se desarrollan modelos hidrodinámicos en 1 y 2 dimensiones, utilizando los softwares de HEC-RAS e IBER, teniendo como herramienta auxiliar la utilización de ArcGis. Se aplican además los estudios sedimentológicos bajo el ensayo de hidrometría en el Laboratorio de Ensayos Viales, tomando muestras en campo.

## Introducción:

La Patagonia Argentina se compone de una amplia región con clima semiárido cruzada por cursos de agua que generan zonas de humedales. Dichos sectores han sido históricamente elegidos para el asentamiento de las poblaciones.

Un factor de riesgo en dichos asentamientos, se encuentra en las lluvias torrenciales que al precipitar sobre paisajes con baja cobertura vegetal producen importantes escorrentías conocidas como crecidas aluvionales o torrenciales (Serra, 2004; Marizza et al., 2008).

La erosión de suelos por lluvias torrenciales constituye un tema de relevancia para las poblaciones del VIRCH y ha sido tema de estudio extendido en el Departamento de Ingeniería Civil e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (Serra, 2002, 2004). Más recientemente se han conducido una experiencia piloto de implementación de ingeniería verde y monitoreo en la Cuenca Sagmata. Además, en dicha cuenca se está llevando a cabo el proyecto de investigación marco para esta propuesta de investigación (PI 1545 – Director Gabriel Kaless), en el cual se implementan técnicas avanzadas de modelación hidráulica para estudiar el flujo de agua y sedimentos en arroyos efímeros con crecidas torrenciales.



*Figura 1: Ubicación Cuenca Sagmata- (Crónica de inundaciones –Kaless 2021)*

## Desarrollo.

La cuenca Sagmata, con una extensión superficial de 129 km<sup>2</sup>, es una de las mayores tributarias en lo que respecta a aporte de sedimentos al Río Chubut en el VIRCH. Para identificarla geográficamente, se comienza por efectuar un análisis de delimitación de cuencas, utilizando un software libre ArcGIS, con ayuda de los sistemas de información geográfica

La información requerida para correr y calibrar los modelos consta de información meteorológica e información referida a la descarga de agua y sedimento desde la cuenca.

La instrumentación meteorológica consiste en 4 pluviómetros instalados en distintas partes de la Cuenca Sagmata, que a través del registro automático permiten reconstruir el desarrollo espacial y temporal de los eventos climáticos.

En cuanto a la instrumentación para medir la descarga de agua y sedimentos es especialmente concebida, diseñada y construida para este proyecto, y está dispuesta a la salida de los principales cañadones que recogen el agua de las distintas subcuencas que componen la Cuenca Sagmata.

Se instalaron cuatro estaciones para el aforo de caudales y muestreo de sedimentos, una en cada curso principal de la red hidrográfica de la Cuenca Sagmata. La estación Sagmata se encuentra en el curso homónimo y monitoreará los flujos producidos por toda la cuenca, con punto de síntesis en el Río Chubut. La segunda estación se ubica en el Arroyo Tir Halen, curso efímero que drena la subcuenca oeste. La tercera estación está emplazada en el colector principal de la subcuenca este, el Arroyo Charito. Finalmente se instaló una cuarta estación en el Arroyo Rayün, tributario del anteriormente mencionado curso. Cada estación consta de un tubo de PVC de 175 mm de diámetro con una escala graduada de 0,05 m de intervalo. En la margen se colocó una cámara de tipo "time lapse" que realiza una fotografía cada 5 min, las 24 horas del día. Para los registros nocturnos se ha incluido una lámpara en el extremo superior del tubo que ilumina la regla. La lámpara posee panel solar para la carga de la batería. La cámara fotográfica produce un video diario.

### 1. Cuantificación de Escorrentía:

Ahora se efectúa el proceso de cuantificación de la Escorrentía para el Arroyo Charito, en el evento de precipitaciones ocurrido durante los días 13/03/2019 y 14/03/2019.



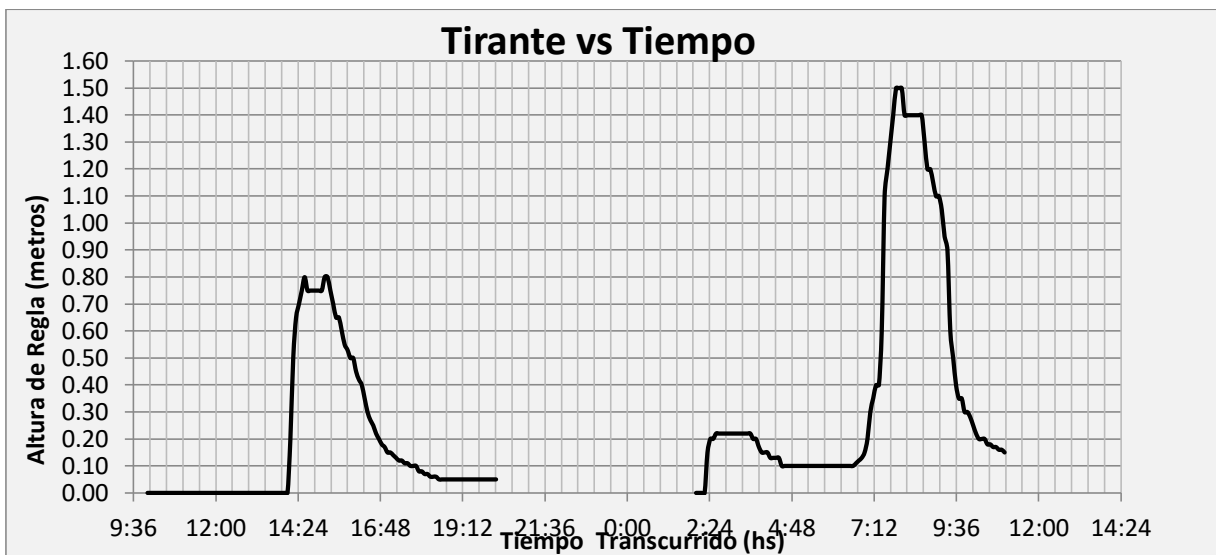
*Figura 2: Estación de aforo en el Arroyo Charito.*

La estación de aforo genera un fotograma de la crecida (Figura 5) tras filtrar los datos, obteniendo los niveles (relativos a una cota de referencia) del pelo de agua durante la misma.



*Figura 3: Secuencia de la Crecida de un evento de precipitaciones- Arroyo Charito*

El fotograma de crecida nos brinda la variación tirante vs tiempo, en un lapso de 5 min, lo que permite construir un hidrograma aproximado de la crecida en la sección analizada (estación de aforo).

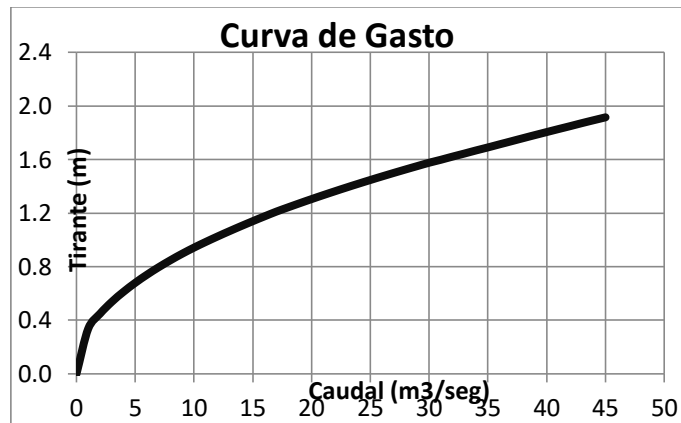


*Figura 4: Hidrograma de Crecida del evento de precipitaciones- Arroyo Charito*

La transformación de niveles a caudales se realiza a partir de una curva de gasto estimada mediante ecuaciones de resistencia al flujo, utilizando el software HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. La modelación hidráulica requiere de ciertos insumos de campo tales como perfiles transversales que dan cuenta de la geometría del curso (relevados con GPS), como así también del dato de rugosidad y parámetros morfométricos del cauce.

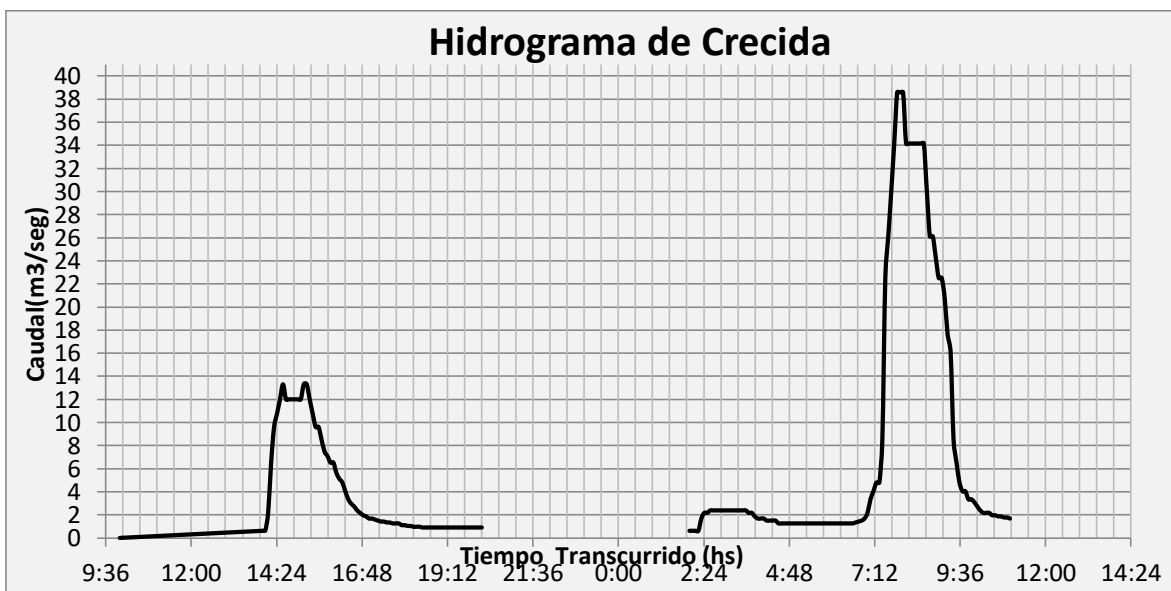
Como datos de salida, una vez simulado el programa para los datos ingresados, se obtiene la curva de gasto  $h$  vs  $Q$ , donde podemos relacionar de forma directa las mediciones en

campo, correspondientes a valores de tirante en el arroyo y asociarlos a un caudal para cada nivel.



*Figura 5: Curva de Gasto de Software Hec-Ras- Perfil de Estación de Aforo*

Transformando la gráfica de altura vs tiempo, como un hidrograma de caudales para la subcuenca Charito:



*Figura 6: Hidrograma de Crecida- Estación de Aforo*

## 2. Análisis y ensayos de sedimentos.

En esta etapa, se analizan las muestras de material extraído, con el objetivo de caracterizar la textura del material transportado (carga de lavado producto de la erosión de suelos) y la velocidad de precipitación. Se realiza un ensayo granulométrico por hidrometría de acuerdo a las normas de ensayo AASHTO T87-70 T 88-70, ASTM D 421-58 D422-63 e IRAM 10512. Con respecto al material del lecho, se determina su textura mediante análisis granulométrico por método mecánico según normativa de ensayos VN-E 1-65. Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (Labievi) – DICH.

*Medición de Sedimentos:* Dentro del tubo de PVC se encuentra el equipo de muestreo de sedimentos. Se instalaron 10 botellas con capacidad de 500 cc. En la tapa de cada botella se conectaron dos tubos cuya función es la de coleccionar la muestra y permitir la salida de aire durante el llenado. La diferencia de altura en dichos tubos permite controlar el rango de niveles hidrométricos en el que se realiza el muestreo. Las muestras se toman en los siguientes niveles respecto del fondo del arroyo: 0,05 m; 0,10 m; 0,15 m; 0,20 m; 0,30 m; 0,40 m; 0,50m; 0,60 m; 0,80 m y 1,00 m.



*Figura 8: Izq.: Interior de la estación de aforo. Der.: Detalle con las botellas recolectoras*

Las pruebas de laboratorio indican que el tiempo de llenado es muy rápido con lo que las muestras corresponderán a la fase creciente del hidrograma. Las botellas y los conductos de llenado/vaciado se encuentran fijas a un mástil metálico que se ubica en el interior del tubo de PVC. Tanto el tubo como el mástil están anclados en el lecho del cauce cuya resistencia ha sido aumentada mediante una mezcla de suelo-cemento.

Para efectuar las mediciones de concentración de Sedimentos, se retiran las botellas, y se miden sus parámetros másicos (peso y volumen de muestra). Luego se cocinan en horno hasta evaporar todo su contenido de agua, dejando en evidencia, para cada muestra, los sedimentos.



*Figura 9: Izq.: Muestras previas a su cocción pesadas. Der.: Sedimentos secados.*

Su peso se relaciona con la cantidad de agua en dicha muestra y se obtiene la concentración para cada altura tomada

Para determinar la granulometría del material, se debe tener en cuenta que la mayor parte de los sedimentos retenidos serán de granulometría fina (<#200) por lo que es necesario

aplicar, además del ensayo de cribado con tamices para la determinación precisa del material más fino, otra metodología adicional.

El método más usado para hacer la determinación indirecta de porcentajes de partículas que pasan el tamiz No. 200 (0.075 mm.), hasta 0.001 mm, es el HIDRÓMETRO basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido, el hidrómetro sirve para la determinación de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

El análisis del hidrómetro utiliza la relación entre la velocidad de caída entre las esferas de un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico tanto de la esfera como del fluido, y la viscosidad del fluido, en la forma expresada por la ley de Stokes.

El “tamaño” obtenido en este ensayo, es el de la esfera equivalente, que decanta a la misma velocidad de las partículas de suelo fino.



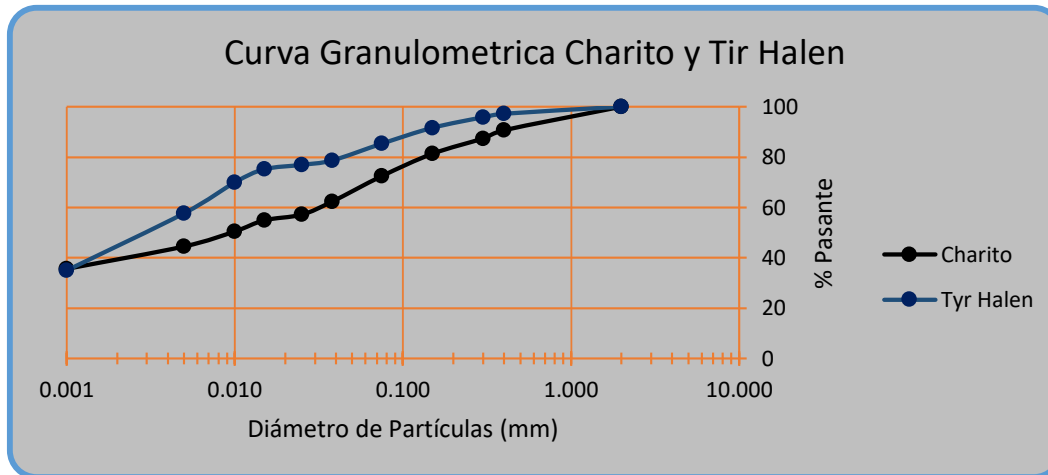
Figura n°10: Muestra diluída (der) e Hidrómetro H152 en agua (izq.)

*Procedimiento de ensayo de Hidrometría:* Del análisis del sedimentograma se obtiene el valor de Gs (gravedad específica) del suelo en estudio. Es necesario tomar el valor de la temperatura cada vez que se efectúa una medición para realizar la corrección (K). El valor de L es el de la lectura tomada en el instante de tiempo considerado. El tamaño de partícula será:

$$D = K * \sqrt{\frac{L}{t}} \text{ (mm)}$$

Los intervalos sugeridos de tiempo para la toma de las mediciones después de 2 horas de comenzado el ensayo son solo aproximados, ya que en realidad cualquier tiempo sería adecuado siempre y cuando sea tomado con suficiente espaciamiento para permitir una dispersión satisfactoria de los puntos en la gráfica.

mm	Granulometría Charito				
	Tamiz	Ret (g)	Pasa (g)	Ret (%)	Pasa (%)
2.000	10	0	214	0	100
0.400	40	18.5	194	9	91
0.300	50	4	187	2	87
0.150	100	13	174	6	81
0.075	200	20	155	9	72
0.038	400 (38 mic)	22	133	10	62
0.025	500 (25 mic)	33	122	15	57
0.015	15 mic	38	117	18	55
0.010	10 mic	47	108	22	50
0.005	5 mic	60	95	28	45
0.001	1 mic	79	76	37	36



### 3. Modelo Digital del Terreno:

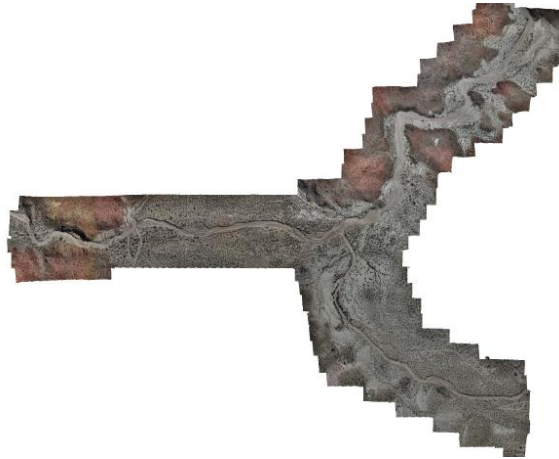
Un modelo digital de terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua donde la variable representada es la cota del terreno en un sistema de referencia determinado. Se utiliza para su análisis la imagen en formato raster.

Para determinar un MDT es necesario relevar la topografía en campo mediante instrumentos de medición topográfica (GPS, Estacion total, Dron, Nivel, etc). Para el caso particular de la cuenca Sagmata, se utiliza la ayuda del organismo cartográfico de la NASA, en el cual se encuentra de forma pública y gratuita una importante base de datos. Se obtiene así una imagen satelital de pixeles de 30m en toda la extensión necesaria.

Para las zonas en las que se sitúan las estaciones de aforo, o las posibles zonas de estudio de intervención estructural, se debe realizar un relevamiento de mayor precisión.

Para efectuar el relevamiento topográfico, se utiliza una modalidad en auge. La misma consta del procesamiento de los datos extraídos de los fotogramas generados con un Drone. Las imágenes tomadas por el dron, dependen de la superficie en estudio, la cantidad de vuelos, la altura y velocidad de corrida, el tamaño de pixel que se quiera generar y la disponibilidad de baterías.

El levantamiento se efectuó mediante 553 imágenes tomadas en 3 vuelos independientes (debido al tiempo de autonomía de la fuente de baterías), a una altura media de vuelo de 97 metros.

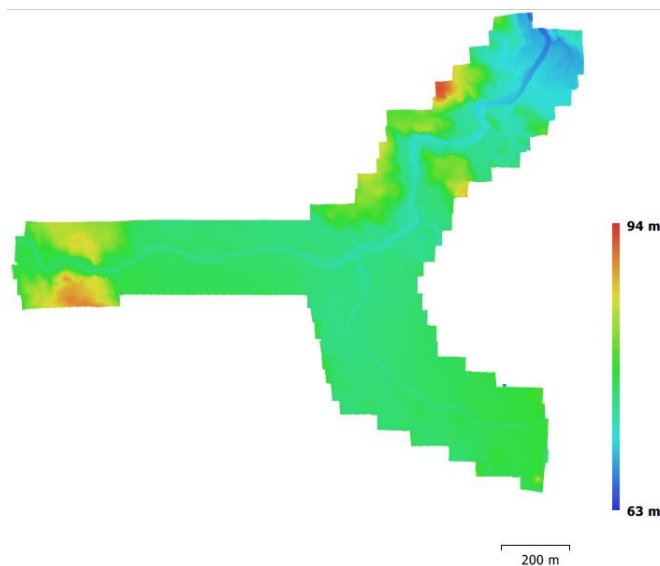


*Figura n°12: Levantamiento en AqiSoft*

Una vez realizado los vuelos en la zona o las zonas de estudio, se procesan los datos mediante el software Agisoft Photoscan Professional. Este programa unifica, orienta y georeferencia el sistema de fotografías tomadas por el drone, y mediante un procesamiento obtiene una nube densa de puntos que luego serán utilizados para el modelo digital del terreno.

El georeferenciamiento debe efectuarse mediante puntos tomados en campo con GPS, que puedan distinguirse en el proceso de fotografías. Esos puntos de control fueron referenciados mediante chapas de 60cm x 60cm con un color en particular distribuidas en el campo de forma distanciada y uniforme en toda el área de procesamiento de datos.

Se distribuyeron un total de 34 puntos de control para el geoprocesamiento y se generó una nube de puntos densa de más de 50 millones de puntos, usando los mismos para la reconstrucción del modelo digital del terreno.

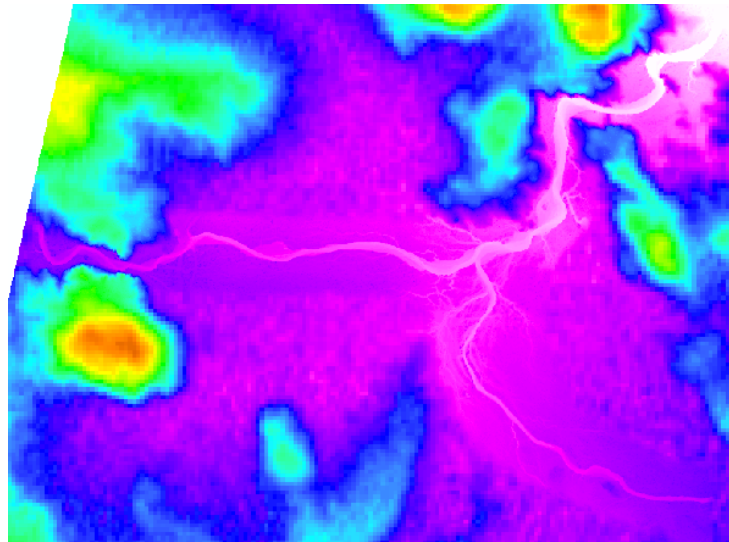


*Figura n°13: MDT en Aqisoft*

El modelo digital de terreno construido contiene una densidad de 61 puntos por pixel, con un tamaño de 12,7 cm de lado.

Luego de obtener un DEM de 12,7 cm de pixel de lado, para las zonas de planicie de inundación, en las pendientes que no son abruptas o se ubican valles altos que no interfieren en la escorrentía principal, se unifica el DEM reconstruido por el dron, con un modelo digital de terreno obtenido de los sistemas de información geográfica. Esta tarea es ejecutada utilizando las herramientas brindadas por el software ArcGis- ArcMap versión 10.8, obteniendo un DEM completo de la zona de estudio, diferenciando tamaños de pixel diferentes.

Se definen polilíneas de quiebre y triángulos de interpolación y finalmente se producirá un MDT con tamaño de pixel de aproximadamente 0.5 m.



*Figura n°13: MDT unificado*

#### **4. Modelo hidráulico.**

La modelación hidráulica es un proceso por el cual se simula el flujo bajo ciertas condiciones impuestas de forma teórica, intentando dar respuesta a los hechos ocurridos en la realidad, para luego compararlos y tener estimaciones del error con el que se calcula.

Para ello, se utiliza el software de modelación hidráulica IBER, el cual simula flujos a superficie libre, su evolución morfológica y procesos de transporte. Fue desarrollado por la Universidad de la Coruña en conjunto con la Universidad Politécnica de Cataluña y el CIMNE, inicialmente financiado por CEDEX y la Dirección General de Aguas de España.

El módulo hidrodinámico se basa en las ecuaciones de Saint Venant 2D y tiene características como el esquema de mallas estructuradas y no estructuradas, la resolución de flujos subcríticos y supercríticos, modelos de turbulencia, estructuras internas, integración con GIS, entre otros. Entre las aplicaciones principales del software, se distinguen: el módulo de transporte de sedimentos, el emplazamiento de estructuras (alcantarillas, puentes, etc.), incorporación de sustancias o contaminantes.

Se planifica una serie de corridas para obtener un modelo hidrodinámico con errores de simulación dentro de tolerancia y suficientemente veloz. La preparación del modelo hidráulico requiere de la definición del tamaño de la grilla para discretizar el dominio de cálculo.

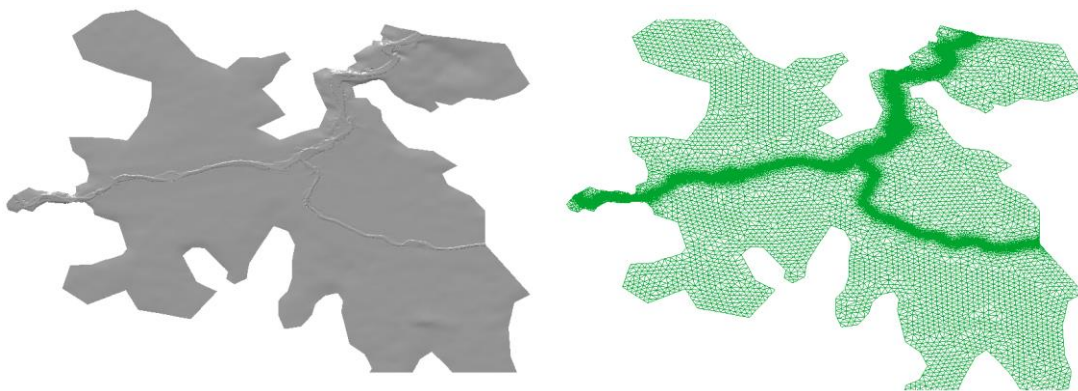
Como paso intermedio, se distinguen 2 superficies principales utilizando GIS. La primera superficie es la que abarca a los arroyos principales, por donde circula principalmente la escorrentía de descarga de la cuenca, tiene una extensión de gran longitud y reducido ancho (del orden de 10 metros), a la cual se le asigna un tamaño de grilla pequeño. Luego, las márgenes y planicies de inundación (que enmarcan las zonas altas) presentándose la mayor cantidad de zonas planas con pocos quiebres. Estas tienen la mayor extensión de la superficie y se les asignará un tamaño de grilla grande.

La modelación hidráulica se realiza para la crecida del 13/03 y 14/03, que más afectó a los asentamientos poblacionales en los últimos años, generando un aporte de sedimentos que imposibilitó a las plantas de potabilización de agua operen correctamente por más de dos semanas. Dicho evento de precipitaciones generó un caudal considerable en los arroyos de la cuenca Sagmata y pudo ser monitoreada con estaciones aforo indirecto.

En la imagen raster, se pueden observar dos arroyos principales, en la zona sur-este el arroyo Charito y el correspondiente de la zona Oeste es el “Arroyo Tir Halen” del galés “Tierra roja” por sus características geomorfológicas.

Como parámetros de ingreso al software IBER se le debe indicar la rugosidad del lecho, separando las zonas mencionadas y distinguiéndolas según se corresponda (observaciones en campo). Las condiciones de contorno, principalmente la o las zonas por las cuales van a ingresar los hidrogramas y la salida, distinguiendo el régimen del flujo.

El hidrograma de Tir Halen arroja un valor de 20 m<sup>3</sup>/seg en el pico de la crecida, para un tiempo de fase creciente de aproximadamente 8000 segundos, mientras que el hidrograma de Charito arroja valores del orden los 40 m<sup>3</sup>/seg en el pico del mismo, con una fase creciente de casi 4000 segundos (figura n°6)

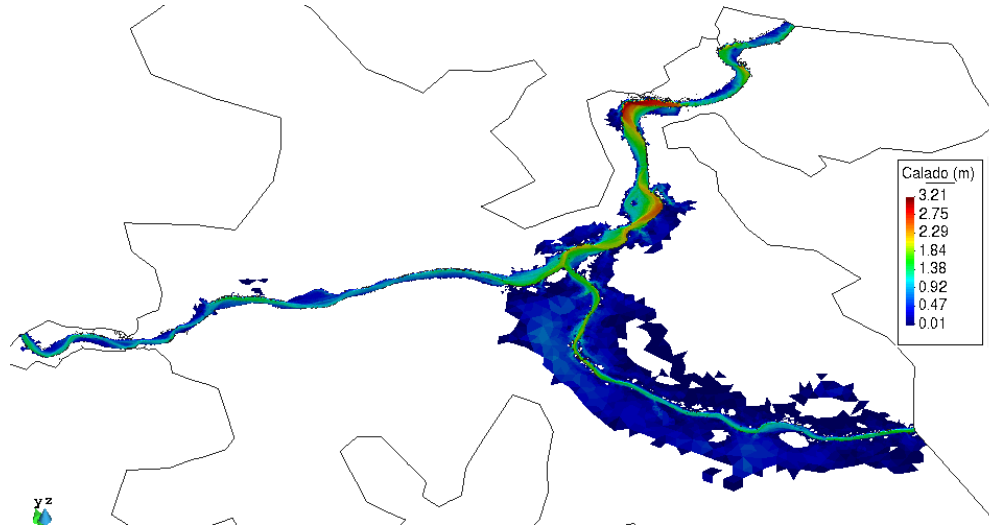


*Figura n°14: Mallado inicial*

Luego de cargar el hidrograma correspondiente para cada una de las entradas de los cauces principales y darle a cada superficie mencionada un tamaño de grilla, se asigna la rugosidad del suelo. La zona de cauces presenta una cubierta de arena fina con una predominante carencia de arbustos debido a la erosión producida por el flujo de torrentes y

la erosión producida por el viento. Mientras que, en la planicie de inundación, se puede observar la cubierta casi completa de arbustos.

Por último, se cargan los parámetros de la modelación, con un tiempo de simulación de 9000 segundos, tiempo que considera la fase recesiva del hidrograma final, el modelo de turbulencia, las variables de salida que queremos obtener (calado, velocidad, caudal específico) y el esquema numérico.



*Figura n°15: Mapa de calado en tiempo t=9000 seg*

Las corridas se diferencian una de otra por sus parámetros de cálculo, como pueden ser el tamaño de grilla, el o los hidrogramas de entrada, la rugosidad, los parámetros temporales, o el tamaño de grilla.

El tamaño de grilla representa la discretización para la resolución de las ecuaciones diferenciales. El método de Richardson permite extrapolar y estimar la solución exacta a partir de la solución  $f_1$  (grilla fina),  $f_2$  (grilla gruesa),  $r = h_2/h_1$  (relación entre tamaños de grillas)

Se realiza la primera serie de corridas con dos tamaños de grilla (para el cauce y planicie) y se analiza la convergencia de la solución utilizando el índice GCI (Grid Convergence Index).

Índice de convergencia de grilla: Se calcula una aproximación para la estimación del error asociado a la solución de la grilla fina y gruesa:

$$E_1^{fino} = \frac{\varepsilon}{1-r^p}; \quad E_2^{grueso} = \frac{r^p * \varepsilon}{1-r^p}$$

Donde:

- $\varepsilon = f_2 - f_1$  (Diferencia entre soluciones)
- $f_2$  solución numérica de grilla fina con tamaño  $h_2$
- $f_1$  solución numérica de grilla gruesa con tamaño  $h_1$
- $r = h_2/h_1$
- $p$ : orden formal de precisión (adoptamos 2)

## Conclusiones y Recomendaciones:

- Se efectuó la modelación hidrodinámica de la planicie de inundación y cauces de la confluencia de los arroyos Tir Halen (observándose un confinamiento mayor que en la planicie del arroyo Charito) y Charito. Los valores de calado (tirante, se ajustan a las observaciones geotécnicas que se encuentran en el cauce principal.
- El tirante máximo alcanzado en todo el desarrollo de los arroyos para la zona estudiada, alcanza los 3.21m y la velocidad máxima alcanzada es de 4 m/seg.
- El modelo digital del terreno obtenido de las imágenes del vuelo, al ser unificado con la imagen raster obtenida de los sistemas de información globales, muestra variaciones muy pequeñas analizando un perfil transversal al arrollo.
- El modelo digital del terreno obtenido de las imágenes del dron, se corresponden con los relevamientos efectuados con GPS.
- El método de Hidrometría, ofrece una solución interesante para determinar la curva granulométrica de suelos con gran contenido de partículas finas, tales como limos y arcillas, siendo los principales colaboradores en las descargas concentradas de sedimentos.
- Se puede efectuar a partir del modelo hidrodinámico planteado, la intervención de una propuesta ingenieril como es el caso de presas de fisura.
- El modelo hidrodinámico en IBER, es virtuoso para el análisis de la planicie de inundación en las zonas independientes de los arroyos más su confluencia aguas abajo, pudiéndose utilizar de la misma manera en el caso de intervenciones estructurales.
- La determinación de la escorrentía, se da gracias al funcionamiento constante de los equipos de monitoreo, para los cuales es necesario el mantenimiento continuo para su óptimo uso.

## Bibliografía:

- AIC (2004). El Control de las crecidas. Sistemas de Emergencias Hídricas y Mitigación del Riesgo. 4ta Edición, Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limaym, Neuquen y Negro.
- Bilmes, A.; Pessacg, N.; Alvarez, M.P.; Brandizi, L.; Cuitiño, J.I.; Kaminker, S.; Bouza, P.J.; Rostagno, C.M.; Núñez de la Rosa, D.; Canizzaro, A., 2016. Inundaciones en Puerto Madryn: Relevamiento y diagnóstico del evento del 21 de Enero de 2016. Informe Técnico CCTCONICET-CENPAT.
- D'Agostino V. (2010) Filtering-retention check dams design in mountain torrents. . En: Conesa-García C., y Lenzi M. (Eds) Check Dams, morphological adjustments and erosion control in torrential streams. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Conesa-García C. y García-Lorenzo R. (2010) Bed scouring-sedimentation balance induced by check dams in semiarid catchments with different lithology. En: Conesa-García C., y Lenzi M. (Eds) Check Dams, morphological adjustments and erosion control in torrential streams. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Kaless, G. y Bastida, R., (2017). Estimación del caudal máximo de crecidas extraordinarias en arroyos efímeros. Casos de los arroyos Salado y Verde (Patagonia Norte). Cuaderno del Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica, Vol 3, Nº 1.
- Kaless G., Frumento O., Bianchi E. Chahero M. J., Bastida R., Iglesias S. (2019a) Cuando en el desierto patagónico los arroyos braman. Evento extraordinario de abril de 2017 en la cuenca del Arroyo Perdido. En: Paredes J. M. (Comp.) Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Visiones Múltiples para una ciudad en riesgo. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina.
- Kaless G-. Pascual M., Flaherty S., Liberoff A., García Asorey M., Brandizi L., Pessacg N., (2019b). Capítulo 22. Ecos de la tormenta de Comodoro Rivadavia en el Valle Inferior del Río Chubut. Aporte de sedimentos al Río Chubut desde la cuenca del Río Chico. En: Paredes J. M. (Comp.) Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Visiones Múltiples para una ciudad en riesgo. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina.
- Marizza M., Rapacioli R., Vives L., (2010). La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Chubut, Argentina. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol 1, Nro 1, pp 21-34.
- Martin-Vide J., y Andreatta A., (2008) Channel degradation and slope adjustment in steep streams controlled through bed sills. Earth Surface Processes and Landforms. doi.org/10.1002/esp.1687.
- Mizuyama T., Kobashi S., Mizuno H. (1996) Development and improvement of open dams function structures against debris flow. Interpraevent Congress, 1996 Band 5, pp.59-65
- Nichols M., y Polyakov V. (2019). The impacts of porous rock check dams on a semiarid alluvial fan. Science of the Total Environment 664, pp. 576-582.
- Paredes J. M., Ocampo S. M., Foix N., Olazábal S. X., Valle M. N., Allard J. O. (2020) Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente árido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 77(2), 294-316
- Pascual M. (2019) Proyecto Aplicación de ingeniería verde para fomentar la retención de sedimentos en suelos del Valle Inferior del Río Chubut. Reporte a División Aguas de Danone S.A. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco – Centro Nacional Patagónico (CONICET) – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación experimental Trelew.
- Serra J. (2002) PI Nº 453: Riesgo Aluvional y Seguridad hídrica en Ambientes torrenciales de la meseta Semiárida Patagónica: Parametrización Hidrológica; SCyT, UNPSJB; (2002-2004);
- Serra J. (2004). PI Nro. 274: Modelos Físicos y Matemáticos de Aplicación para el Control de Crecidas en Ambientes Torrenciales Patagónicos, SCyT, UNPSJB; (1999-2002);
- Serra, J. (2004). Urbanización e inundaciones en sistemas hídricos del centro de la región patagónica. En: Bertoni, J.C. (Organizador), Inundaciones Urbanas en Argentina, 155-195, ed. GWP-SAMTAC, Córdoba, Argentina