

**CUENCA EXPERIMENTAL ARROYO SAGMATA: MONITOREO DE CRECIDAS TORRENCIALES EN ARROYOS EFÍMEROS DE LA PATAGONIA SEMIÁRIDA (PCIA. DEL CHUBUT, ARGENTINA)**

**SAGMATA STREAM EXPERIMENTAL WATERSHED: MONITORING FLASHFLOODS IN EPHEMERAL STREAMS OF SEMIARID PATAGONIA (CHUBUT PROVINCE, ARGENTINA)**

**Gabriel Kaless<sup>(1)</sup>, Oscar Frumento<sup>(2)</sup>, Héctor Andrés Malnero<sup>(3)</sup> y Miguel Alberto Pascual<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Argentina.

e-mail: gkaless@ing.unp.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7370-1321>

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de los Comechingones. Merlo, Argentina.

e-mail: ofrumento@unlc.edu.ar ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3373-1491>

<sup>(3)</sup> Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Argentina.

e-mail: hmalnero@ing.unp.edu.ar ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3736-8645>

<sup>(4)</sup> Centro Nacional Patagónico, Centro Científico Tecnológico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Puerto Madryn, Argentina.

e-mail: miguelafuera@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9654-8841>

**RESUMEN**

El Valle inferior del Río Chubut (VIRCh) es el lugar de asiento de la mitad de la población de la Provincia del Chubut (Argentina). Las lluvias ocasionales producen crecidas repentinas en los arroyos efímeros y pulsos de alta turbiedad en el Río Chubut que provocan el corte del suministro de agua potable a las poblaciones y riesgo de inundación. Con el objetivo de contar con información de campo de los procesos hidrológicos y de erosión de suelos, en el año 2017 se inició la instrumentación de una cuenca piloto de 129 km<sup>2</sup> de extensión, denominada Cuenca Experimental Arroyo Sagmata (CEAS). Se presentan resultados para el periodo diciembre-2017 a febrero-2022. La lluvia media anual fue de 161 mm. No se observan variaciones estacionales en la precipitación y duración de las tormentas. Se registraron tres eventos con elevada intensidad en 10 min: 42, 45 y 63 mm/h. Durante el periodo se han registrado 17 eventos de crecidas, con un caudal máximo vertido en el Río Chubut de 34.6 m<sup>3</sup>/s. La concentración media de sedimentos transportados en suspensión por el flujo es de 33.4 g/l con un valor máximo registrado de 60.6 g/l. Los resultados presentados constituyen un aporte tanto al conocimiento de la hidrología regional como así también para la formulación de proyectos que garanticen la seguridad hídrica en el VIRCh.

**Palabras clave:** Turbiedad, Crecidas repentinas, Arroyos efímeros, Monitoreo ambiental, Río Chubut.

**ABSTRACT**

Half of the population of the Chubut Province (Argentina) lives in the Lower Valley of the Chubut River (VIRCh). The occasional rains produce flash floods in the ephemeral streams and high turbidity pulses in the Chubut River, which may cut off the provision of fresh water to the communities and flood risk as well. In order to get field data on soil erosion and hydrological processes, the Sagmata Stream Experimental Basin (CEAS), a 129 km<sup>2</sup> pilot basin, was instrumented in 2017. Results are presented for the period December-2017 to February-2022. The mean annual rainfall was 161 mm. Seasonal variations in precipitation and duration of storms are not significant. Three events with high 10 min- rainfall intensity were recorded: 42, 45, and 63 mm/h. During the period, 17 flood events have been registered, with a maximum flow discharged into the Chubut River of 34.6 m<sup>3</sup>/s. The average sediment concentration of the flow is 33.4 g/l with a maximum registered value of 60.6 g/l. The results constitute a contribution to the knowledge of regional hydrology as well as for the formulation of projects to guarantee water security in VIRCh.

**Keywords:** Turbidity, Flash floods, Ephemeral streams, Environmental monitoring, Chubut River.

## INTRODUCCIÓN

Los ambientes áridos cubren una proporción importante del planeta en un espectro climático amplio: desde condiciones hiperáridas en el norte de África y la península Arábiga (7.5%), zonas áridas en el medio oriente, Asia central y Australia (12%), semiárida en la mayor extensión del sudoeste de Estados Unidos y América del Sur (17.7%) (Parsons y Abrahams, 2009). En este último caso en particular, se destaca la diagonal árida que constituye una franja que se extiende hacia el sur por ambas vertientes de la cordillera andina. El extremo norte se ubica en la costa del Pacífico en proximidades del Ecuador, mientras que el extremo oriental se encuentra en la costa atlántica del sur de Argentina (Martínez Carretero, 2013).

Las crecidas repentinas en los sistemas fluviales efímeros han sido motivo de gran preocupación debido al impacto producido en las comunidades. En general, los estudios científicos/técnicos han sido conducidos luego del paso de las crecidas, documentándose eventos extremos en el sur del Sinaí, Egipto (Kehew et al., 2010), en el este de Sudáfrica (Heritage et al., 2019) y el suroeste de los Estados Unidos (Costa y Jarret, 2008). En el contexto de Argentina, recientemente han ocurrido eventos extraordinarios en varios lugares de la región semiárida de Patagonia, afectando comunidades como Puerto Madryn (Bilmes et al., 2016), Comodoro Rivadavia (Paredes et al., 2021); el Valle Inferior del Río Chubut – VIRCh (Kaless et al., 2019a) y la meseta chubutense (Kaless et al., 2019b; Kaless et al., 2023). La cuantificación de la intensidad de dichos eventos resulta casi imposible de realizar durante el desarrollo del evento debido a su peligrosidad, ocurrencia en lugares remotos y baja duración. Por tal motivo se ha recurrido a técnicas de reconstrucción post-evento (Jarret y England, 2002). Sin embargo, existen algunos casos en el mundo de implementación de estaciones de monitoreo. La cuenca del Arroyo Walnut en Arizona fue instrumentada a mediados del siglo pasado con una densa red de pluviómetros y canales de pendiente crítica en la red de arroyos (Renard et al., 2008; Renard y Keppel, 1966). Otro ejemplo es la estación de monitoreo ubicada en el norte del desierto de Negev, Israel, diseñada principalmente para la medición del transporte de sedimentos (de fondo y en suspensión), que opera desde los '90 (Reid et al., 1998).

La región patagónica se extiende al sur de los ríos Colorado y Barrancas hasta el canal de Beagle; y

desde la cordillera de los Andes hasta el Océano Atlántico (área aproximada de 790000 km<sup>2</sup>). La mayor parte del territorio pertenece a la región extraandina con clima árido y semiárido (Coronato et al., 2008). La presente investigación tiene lugar en el VIRCh (Pcia. del Chubut, Argentina) que se extiende desde la represa Florentino Ameghino al oeste y el Mar Argentino en el extremo oriental (Figura 1). Las lluvias de gran intensidad y corta duración que ocurren entre la represa y el paraje denominado Boca Toma producen pulsos de alta turbidez en el Río Chubut que provocan la interrupción en el suministro de agua potable a todas las localidades de la comarca VIRCh-Valdez (Kaless et al., 2019a) que se encuentra ubicadas aguas abajo. Además, estos altos caudales han ocasionado la inundación del valle tanto en tiempos pasados como recientes (Griffiths y Tooth, 2021; Kaless, 2021). Por otro lado, la comunidad científica ha alertado sobre las potenciales consecuencias a nivel local del cambio climático global (Pessacq et al., 2020; 2021). En este contexto local y general, sumado a la falta de datos hidroambientales, hemos iniciado una investigación en el año 2017 para el monitoreo de la respuesta hidrológica de los sistemas efímeros ante la ocurrencia de eventos de lluvia de alta intensidad. Se instrumentó una cuenca piloto de 129 km<sup>2</sup> de extensión, denominada Cuenca Experimental Arroyo Sagmata (CEAS).

## OBJETIVOS

Los objetivos de la presente publicación son: a) caracterizar las lluvias torrenciales en la cuenca Arroyo Sagmata, b) caracterizar la respuesta hidrológica de la cuenca en términos de caudales y escorrentía, y c) caracterizar la turbiedad aportada al Río Chubut; para el periodo de observación enero 2018-febrero 2022.

## METODOLOGÍA

### Cuenca de estudio

La CEAS se encuentra ubicada en el VIRCh, en el centro de la Patagonia, entre las latitudes 43° 30' S y 43° 38' S y las longitudes 65° 57' O y 66° 04' O. La cuenca tiene su cabecera en la meseta de Montemayor a una elevación de 274 m s.n.m. y drena las aguas de lluvia hacia el Río Chubut que se encuentra a una elevación de 53 m s.n.m. El clima en el área de estudio es de tipo semiárido, con una precipitación anual que no excede de 170 mm.

No se identifica algún patrón estacional en la precipitación y cualquier mes del año puede estar libre de precipitaciones. La evaporación anual asciende a 722 mm (del Valle et al., 2009), con un índice de aridez de 0.23 clasificándose el clima como semiárido (Middelton

y Thomas, 1992). La temperatura media anual es de 14° C con un amplio rango de variación en los días de verano. Los vientos dominantes provienen del oeste como resultado de los patrones de circulación atmosférica en Patagonia (Prohaska, 1976).

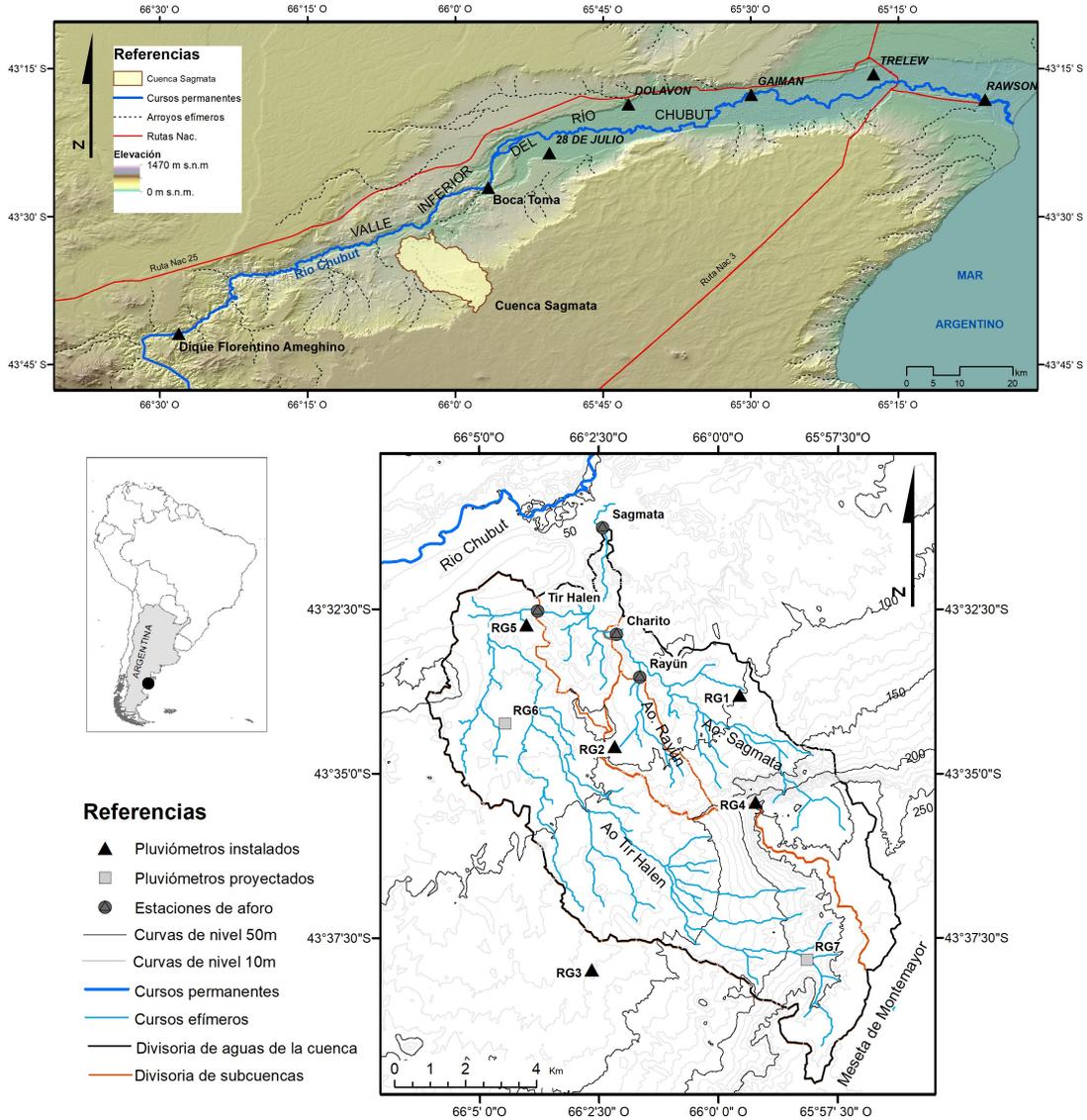


Figura 1: Ubicación de la cuenca, red hidrográfica, red de pluviómetros instalados y proyectados para ser instalados en 2023. Se indica también la ubicación de los puntos de monitoreo en los arroyos.

La geomorfología de la cuenca está caracterizada por formas de erosión fluvial controladas por unidades litoestratigráficas. Se identifican superficies exhumadas de planación de rocas volcánicas que se observan como afloramientos irregulares. La erosión en rocas sedimentarias origina paisajes con escarpas y

badlands. Parte de la red de drenaje se desarrolla sobre depósitos recientes conformados por sedimentos finos sometidos a recirculación. Gran parte de la cuenca posee distintos niveles de pedimentos. También se identifican antiguas terrazas de origen fluvial en el extremo norte de la cuenca (Bilmes et al., 2003).

### Monitoreo meteorológico

Se han instalado 5 pluviómetros (Nakaasa Instruments, Co. Ltd, modelo B-200). El dispositivo de almacenamiento de datos ha sido un desarrollo del Laboratorio de Electrónica, SECELEC del CCT-CONICET-CENPAT. El equipo RG1 se ubica en el extremo oriental, el RG2 en el centro y el RG3 en el extremo Sur (fuera de la cuenca). El RG4 fue ubicado en la meseta y el RG5

en la zona baja, extremo Norte (Figura 1).

La lluvia acumulada fue registrada cada 30 min durante el primer año y luego se aumentó el muestreo a 5 min. La resolución del equipo es de 0.5 mm.

Para definir la duración de la tormenta, se considera que un evento ha finalizado cuando transcurre un periodo de 6 h con una precipitación de 1.5 mm (Renard et al, 1997).

**Tabla 1. Características fisiográficas principales y geomórficas (Bilmes et al., 2023) de la cuenca y subcuencas.**

	Sagmata	Tir Halen	Charito	Rayün
<b>Parámetros fisiográficos</b>				
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	98.2	60.0	30.8	5.9
Perímetro (km)	56.6	52.45	35.4	12.6
Elevación promedio (m s.n.m.)	140.2	142.3	151.6	101.0
Elevación mínima (m s.n.m.)	53.3	67.9	64.3	73.7
Elevación máxima (m s.n.m.)	274.0	274.	267.2	168.7
Pendiente media (m/m)	0.030	0.031	0.042	0.034
Longitud del cauce principal (km)	15.4	20.6	10.9	5.8
Pendiente media del cauce ppal. (m/m)	0.013	0.009	0.017	0.010
<b>Unidades geomórficas</b>				
Terrazas estructuradas (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.04	0.02	0.08	0.08
Badlands y escarpas de erosión (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.11	0.06	0.28	0.32
Pedimentos antiguos (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.39	0.42	0.37	0.29
Terrazas antiguas (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.06	0.07	0.02	0.00
Bajadas remanentes (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.10	0.15	0.01	0.00
Depósitos recientes (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.18	0.14	0.25	0.31
Terrazas fluviales intermedias (km <sup>2</sup> / km <sup>2</sup> )	0.12	0.14	0.01	0.00

### Monitoreo en los arroyos

Se instalaron cuatro estaciones para el aforo de caudales y muestreo de sedimentos, una en cada curso principal de la red hidrográfica (Figura 1). La estación Sagmata se encuentra en el curso homónimo y monitorea los flujos producidos por toda la cuenca. La segunda estación está ubicada en el Arroyo Tir Halen que drena la subcuenca oeste. La tercera estación, Charito, se ubica en el tronco oriental del Arroyo Sagmata. La cuarta estación se emplazó en el Arroyo Rayün, tributario del anterior curso.

Cada estación cuenta con un tubo de PVC de 175 mm de diámetro ubicado en proximidad de la margen. Consta de una escala graduada de 0.05 m de intervalo y una lámpara solar en el extremo superior para la iluminación nocturna (Figura 2). En la margen se colocó una cámara de tipo “time-lapse” que realiza una fotografía cada 5 min, las 24 horas del día, y un video diario. 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

colectar la muestra y permitir la salida del 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 botellas y conductos están fijados 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. Las alturas de muestreo son: 0.05 m, 0.10 m, 0.15 m, 0.20 m, 0.30 m, 0.40 m, 0.50 m, 0.60 m, 0.80 m, 1.00 m.

Las botellas son recolectadas luego de cada evento, usualmente una semana después cuando los caminos son transitables. Se las deja en reposo en el laboratorio por 10 a 15 días para que decanten los sedimentos. El líquido sobrenadante es removido y pesado. La restante mezcla de agua y sedimentos es secada en horno. La concentración de sedimentos es calculada como el peso seco de sedimentos y el volumen total de agua. La distribución granulométrica fue determinada utilizando tamices para partículas de tamaño mayor a 0.074 mm y el método hidrométrico para tamaños menores (Department of Transportation [DOT], 2015).

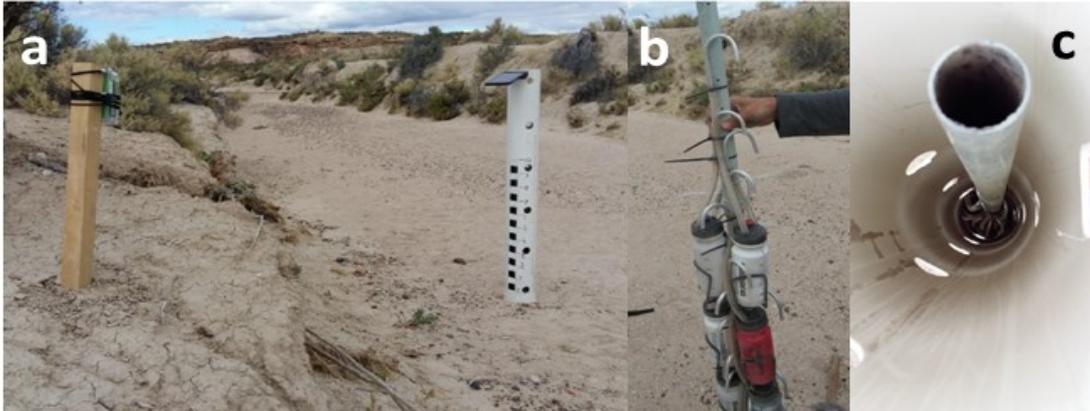


Figura 2: Vista de los equipos ubicados en cada estación de monitoreo en los arroyos: a) la cámara está ubicada en la margen y registra los niveles según las marcas pintadas en el tubo de PVC, b y c) este tubo aloja en su interior un mástil metálico que sirve de elemento de sujeción de 10 botellas que capturan sedimentos transportados en suspensión (concentración del nivel superior del flujo).

### Estimación de caudales

Los caudales son estimados indirectamente a partir de la observación de la superficie libre registrada en las cámaras. Se emplea un modelo hidrodinámico bidimensional, IBER, (Bladé et al., 2014, Cea et al., 2020) que resuelve las ecuaciones de flujo promediado en la vertical e incorpora un modelo de turbulencia k-ε. Si bien es posible realizar simulaciones con fondo móvil, se impuso una condición de fondo fijo.

En cada estación de aforo se realizó un relevamiento topográfico con dron mapeándose tanto el cauce principal como las planicies y terrazas adyacentes (Tabla 2). Se realizaron pruebas con distintos tamaños de grillas y se evaluó el Índice de Convergencia de Grilla (Roache, 1997) a fin de estimar el error en el cálculo de la superficie libre (en todos los casos fue inferior a 0.024 m, para un tamaño máximo de grilla de 0.56 m).

En el borde de aguas abajo se impuso la condición de flujo crítico o supercrítico en base a simulaciones exploratorias. En el extremo de aguas arriba se impuso un hidrograma creciente escalonado abarcando el rango de observaciones. Como primera aproximación, se realizaron simulaciones en régimen permanente, prolongando la duración de cada caudal el tiempo necesario para alcanzar la igualdad en los caudales de ingreso y salida del tramo de estudio. Posteriormente, se realizó una verificación del régimen transitorio en los hidrogramas que presentaban las mayores velocidades de ascenso del pelo de agua. En esta

instancia, se cargó el modelo con un hidrograma estimado en base a la curva altura-caudal (régimen permanente). Se comparó el nivel calculado con el predicho y se realizaron ajuste a los caudales en caso de discrepancias.

## RESULTADOS

### Desarrollo cronológico

La colocación en campo de los instrumentos fue un proceso gradual que contempló el desarrollo tecnológico, análisis hidrológico de la ubicación más conveniente y la posibilidad de acceso. El 2 de febrero de 2018 se instaló el equipo RG3 y hacia el fin de ese mes se instaló el RG1 y dos meses después, el RG2. El equipo ubicado en la meseta de Montemayor, el RG4, fue colocado en noviembre de 2018. El RG5 fue instalado a fines de marzo del año 2022. Antes de la finalización del año 2023 se colocarán los equipos RG6 y RG7 (Figura 1).

Inicialmente se programaron los equipos para registrar la lluvia acumulada cada 30 min pero luego fue modificado. El 26 de octubre de 2018, una tormenta de tipo convectiva produjo un evento de fuerte intensidad y baja duración que activó por primera vez los arroyos desde el inicio del monitoreo. Su duración no se extendió por más de 30 min por lo que consideramos conveniente aumentar la frecuencia de muestreo a 5 min. Esto requirió visitas regulares para descargar los datos, que fue posible hasta el inicio de la cuarentena, a mediados de marzo de 2020. Posteriormente, a

inicios del año 2021, se pudo optimizar el algoritmo para registrar los acumulados de lluvia cada 5 min, siempre y cuando se verificaran pulsos con el movimiento de los cangilones.

Las estaciones de aforo comenzaron a ser instaladas en diciembre del año 2017, iniciando con Sagmata. En Marzo de 2018 se instalaron las estaciones de Charito y Tir Halen, y finalmente Rayün a mediados de abril.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las características de las tormentas, crecidas, y concentración de sedimentos.

### Régimen de lluvias

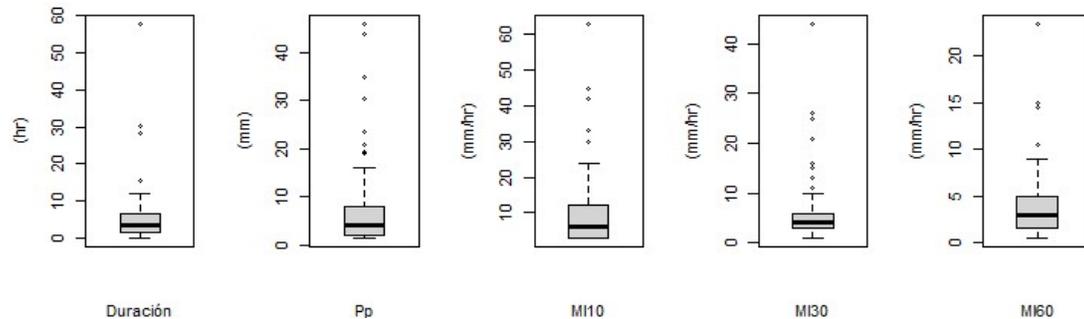
La lluvia media anual registrada en el equipo RG3 asciende a 161 mm (con un mínimo de 119 mm en 2018 y un máximo de 188 en el año 2021). Si bien no fue posible medir la precipitación durante el año

2020, el mismo fue seco en la región, reportándose un valor acumulado de 92 mm en la estación meteorológica del INTA ubicada en la ciudad de Trelew (distante a 70 km al Este) y no se produjeron eventos de crecidas ese año. La precipitación media mensual es de 14.1 mm, no siendo significativa la diferencia entre los valores mensuales y la media (valor de  $p > 0.14$ ), por lo que se concluye que los acumulados mensuales no presentan estacionalidad.

Se aplicaron distintos indicadores para caracterizar las tormentas. En la Figura 3 se muestran gráficos tipo boxplot que sintetizan la información. Los eventos que afectan la cuenca se caracterizan por su corta duración: la mitad tiene una duración menor a 3.5 h y solamente un cuarto de ellos supera las 6.8 h. La mayoría de los eventos tienen una lluvia acumulada igual o menor a 8 mm (3er cuartil) pero algunos eventos (6 de 89) muestran acumuladas superiores a 20 mm (Figura 3).

**Tabla 2. Características de los tramos relevados para la determinación del caudal (ubicación de estaciones de aforo en Figura 1).**

	Sagmata	Tir Halen	Charito	Rayün
Longitud del tramo (m)	201	220	296	116
Pendiente media (m/m)	0.0023	0.0029	0.0029	0.0034
Ancho de fondo (m)	7.0	6.0	6.6	11.6
Área relevada con dron (Ha)	21.0	18.2	25.5	10.6



**Figura 3: Parámetros característicos de las tormentas registradas en el equipo RG3. Se muestra información para la duración de la tormenta, la precipitación acumulada (Pp) y las intensidades máximas en 10 min, 30 min y 60 min (denominadas como MI10, MI30 y MI60 respectivamente).**

La duración de las tormentas del periodo primavera-verano (media de 4.4 h) es similar a las del periodo otoño-invierno (media de 6.6 h,  $p = 0.169$ ). Tampoco hay diferencias estacionales en la precipitación ( $p = 0.855$ ). Las intensidades máximas en 60 min son levemente mayores ( $p = 0.054$ ) en primavera-verano (con media 4.7 mm/h) que en otoño-invierno (media de 3.2 mm/h).

Se analizaron otras duraciones para la intensidad máxima, tales como 10 y 30 min. La intensidad máxima en 30 min (MI30), es ampliamente utilizada

en la evaluación de erosión de suelos (Renard et al., 1997). Para la zona de estudio, el tercer cuartil tiene un valor de 6 mm/h. Sin embargo, hay 11 eventos comprendidos entre 10 y 44 mm/h. Por otro lado, según Rostagno et al. (1999), la intensidad máxima en 10 min es más significativa para los procesos de erosión en ambientes semiáridos de Patagonia. En nuestro estudio, el 75% de los eventos tuvo intensidades máximas menores a 12 mm/h. Sin embargo se registraron tres eventos con intensidades de 42, 45 y 63 mm/h (el primero ocurrido el 6 de abril de 2021 y los otros dos en el mes de enero).

**Tabla 3. Resumen de las características de parámetros de lluvia, caudal, escorrentía y concentración de sedimentos para 17 eventos de escorrentía en el período 2018-2022.**

Descripción	Min	1er Cuartil	Media	3er Cuartil	Max
Duración de tormenta (h)	0.1	1.5	5.6	6.8	57.8
Precipitación (mm)	1.5	2.0	7.0	8.0	46.0
Máxima intensidad en 5 min (mm/h)	6.0	6.0	14.5	12.0	84.0
Máxima intensidad en 10 min (mm/h)	3.0	3.0	10.1	12.0	63.0
Máxima intensidad en 15 min (mm/h)	2.0	4.0	8.6	10.0	44.0
Máxima intensidad en 30 min (mm/h)	1.0	3.0	5.8	6.0	44.0
Máxima intensidad en 60 min (mm/h)	0.0	1.5	3.9	5.0	23.5
Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)					
Sagmata		4.2	13.9	13.9	34.6
Tir Halen		1.6	5.7	9.7	18.0
Charito		5.5	12.3	13.6	46.1
Rayün		1.7	5.3	6.2	17.1
Escorrentía (mm)					
Sagmata		0.48	1.46	1.81	5.31
Tir Halen		0.32	1.64	2.41	5.99
Charito		1.37	2.51	2.72	8.27
Rayün		2.17	4.32	3.74	10.69
Concentración de sedimentos (g/l)					
Sagmata	14.5	25.0	33.4	34.0	60.6
Tir Halen	9.1	9.9	18.6	21.6	43.8
Charito	21.7	36.0	42.9	47.1	71.8
Rayün	13.2	17.8	21.2	24.8	30.0

### Régimen de caudales

La red hidrográfica está conformada por cauces aluviales con lechos de arena y gravas. Los arroyos están secos la mayor parte del año y solamente algunas tormentas suficientemente intensas logran producir escorrentía. Por ejemplo, el primer evento de escorrentía fue observado el 26 de octubre de 2018 (Figura 4), luego de 9 meses de iniciado el monitoreo. Dos semanas después, el 10 de noviembre ocurrió el segundo evento de crecida. En el periodo enero-2018 a febrero-2022 se contabilizó un total de 17 hidrogramas (menos de 3 eventos por año). Los hidrogramas presentan una fase ascendente brusca, con observaciones de velocidades de ascenso de hasta 0.15 m/min. Una vez alcanzado el pico se sucede la fase recesiva con duración más prolongada. En la Figura 5 se muestran los rangos de caudales estimados. Para la cuenca Sagmata, el caudal pico promedio es de 11.7 m<sup>3</sup>/s (con cuartiles entre 4.2 y 13.9 m<sup>3</sup>/s).

La curva de duración de caudales expresa lo anteriormente dicho en términos cuantitativos. En media, los arroyos están bañados no más de 12 horas al año. Si se adopta un umbral de 10 cm en el nivel hidrométrico (considerando posible estancamiento del flujo) los eventos de crecidas tienen una duración media de 7 h y 6.8 h en las estaciones de Sagmata y Tir Halen, respectivamente. En las

subcuenas más pequeñas las duraciones son menores: 3.9 h en Charito y 3.0 h en Rayün.

La subcuenca más pequeña presenta respuestas impulsivas con un notable ascenso de los caudales específicos por encima de 1.2 mm/s con duraciones menores a 16 min. El valor máximo de caudal específico es de 2.6 mm/s. La escala areal de la cuenca modifica la duración de caudales. Conforme aumenta el área el caudal específico es más bajo (valor máximo de 0.84 mm/s en Charito y 0.33 mm/s en Sagmata).

La producción de escorrentía resulta de la integración de las curvas de duración de caudales. Para la subcuenca Rayün se obtuvo una lámina de 16.6 mm/año, para Charito 12.2 mm/año, Tir Halen 7.6 mm/año y Sagmata 6.6 mm/año. Estos valores, comparados con la lámina de precipitación anual, indican que el suelo, a través de la infiltración, ejerce un control importante sobre la producción de escorrentía. Por otro lado, se observa una reducción areal (Figura 7) que puede interpretarse en términos de la extensión reducida de las tormentas que afectan parcialmente a la cuenca. También resultan importantes las pérdidas por infiltración en el manto aluvial de los arroyos. La lámina computada en la sección de aforo de Sagmata es el 72% de la suma de las láminas correspondientes a las estaciones ubicadas aguas arriba (Charito y Tir Halen).



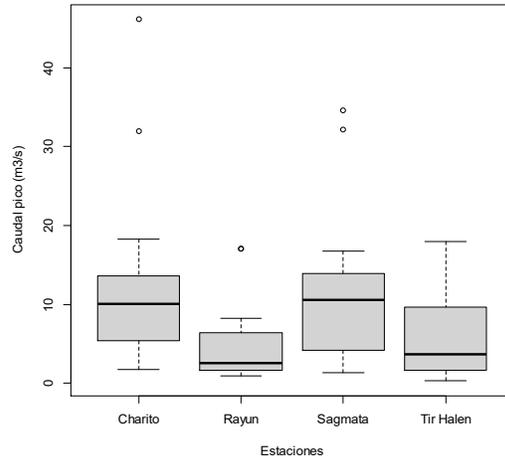
**Figura 4:** Secuencia fotográfica del paso de un evento. Estación de aforo de Charito mostrando el arribo de la crecida a las 20:00 y el nivel máximo 15 minutos después (evento del 26/10/2018).

#### Aporte de turbiedad al Río Chubut

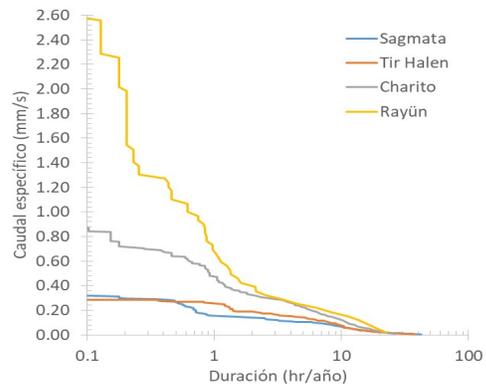
Se recolectaron muestras de sedimentos para 14 eventos y se realizó un análisis granulométrico con muestras de las estaciones de Charito y Tir Halen pertenecientes al evento de 15 de marzo 2019. La muestra de Charito está compuesta por 30% de arena, 31% de limos y 39% de arcillas (tamaño  $D_{95}$  de 0.84 mm). La muestra de Tir Halen está compuesta por 16% de arena, 39% de limos y 45% de arcillas (tamaño  $D_{95}$  de 0.26 mm). Si bien las muestras son recolectadas a niveles próximos a la superficie es de esperar una distribución de concentraciones uniforme en la vertical para las fracciones finas (limos y arcillas) que resultan de interés en los problemas de turbidez aguas abajo.

La concentración media más baja se observa en la subcuenca occidental de Tir Halen, con un valor de 20.9 g/l (desv.est. 22.5 g/l). Por otro lado, la concentración en la subcuenca de Charito es de 58.0 g/l (desv.est. 17.9 g/l) y su subcuenca de Rayün es de 28.5 g/l (desv.est. 21.2 g/l). Producto de la mezcla de los flujos de las subcuencas Charito y Tir Halen, la concentración media del flujo que descarga la cuenca en el Río Chubut es de 41.4 g/l (desv.est. 16.3 g/l). La máxima concentración muestreada fue de 131.2 g/l en la estación de Rayün durante el primer evento (el RG2 registró una intensidad

máxima en 30 min de 42 mm/h). Similares valores fueron obtenidos en las muestras de las otras estaciones para ese evento. Finalmente, debe observarse que el muestreo se realiza durante la fase creciente del hidrograma que, debido a la histéresis en la relación concentración-caudal, suele ser mayor a la concentración de sedimento durante la fase recesiva del hidrograma.



**Figura 5:** Resumen de los caudales pico de 17 eventos observados en el periodo 2018-2022.



**Figura 6:** Duración de los caudales observados en estaciones de aforo, divididos por el área de cada subcuenca (consultar Tabla 1).

## DISCUSIÓN

### Erosión de suelos y ondas de turbiedad en el Río Chubut

Durante el periodo de estudio se registraron 17 eventos de crecidas torrenciales en el Arroyo Sagmata. La turbiedad en el Río Chubut alcanzó niveles suficientemente altos para dejar fuera de

servicio a la planta potabilizadora de Trelew en 9 de dichos eventos. La planta potabilizadora de Trelew (nro. 1) detiene su funcionamiento a partir de una turbiedad de 3 g/l (J. P. San Martín, comunicación personal). En el caso de la ciudad de Puerto Madryn el umbral está entre 3.8 g/l y 4.8 g/l, que se amplía a 12 g/l desde la construcción del predecantador, en el año 2017 (M. Junyent, comunicación personal). En todos los casos, se ha utilizado una equivalencia con las unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) de 1 UNT = 1.9 mg/l (Kaless et al., 2019a).

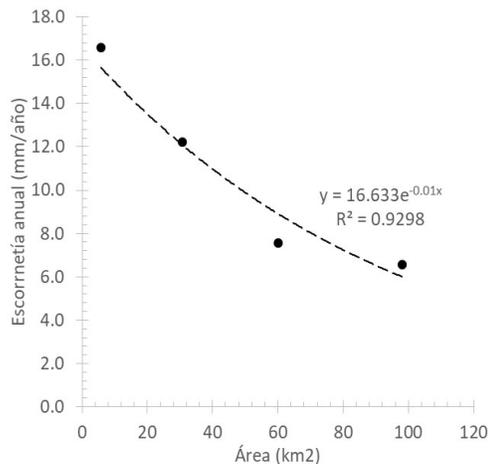


Figura 7: Escorrentía media anual en cada subcuenca. Se observa la dependencia con el área drenada.

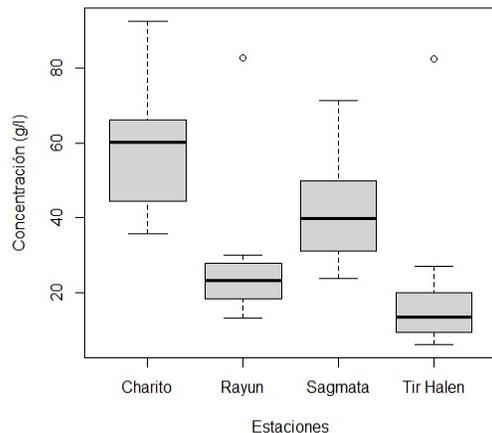


Figura 8: Resumen de las concentraciones de las 14 muestras recolectadas en cada sección de monitoreo.

Las concentraciones medidas en los arroyos resultan varios órdenes de magnitud superiores a los valores usuales del Río Chubut. La carga de sedimentos transportada por el río en el VIRCh tiene una variación estacional con mínimo de 20 mg/l en Junio

y un máximo de 59 mg/l en Septiembre (Kaless et al., 2019a). Durante los eventos de crecidas repentinas en los cañadones, la concentración alcanza los 0.6 g/l y en contadas ocasiones se registraron picos de 2.8 g/l (Kaless et al., 2019a), según mediciones que se realizan en las plantas potabilizadoras. La notable diferencia respecto de las concentraciones medidas en la estación de aforo de Sagmata se interpreta en términos de: la concentración medida es mayor a la concentración media del evento; el efecto de dilución al mezclarse el aporte del arroyo con el agua prácticamente limpia del Río Chubut, y el efecto de dispersión propiciado por la distancia de transporte.

### Origen de las ondas de turbiedad

Las investigaciones precedentes han concluido que las cuencas ubicadas al sur del Río Chubut, entre el Dique Ameghino y Boca Toma, son las principales productoras de sedimentos. Estos estudios se han enfocado en la caracterización de los suelos (Luque y Beider, 2002), la aplicación de modelos de erosión (Serra, 1999) con tentativas de calibración en base a medición de la concentración en el Río Chubut (Bastida et al., 2017). Las mediciones en la red fluvial de la cuenca Arroyo Sagmata aportan nueva información sobre el origen de los sedimentos. La mayor concentración proviene de un sector de superficie menor o igual a 25 km<sup>2</sup>, tal como resulta de comparar las concentraciones en Charito y Rayün (Tabla 3 y Figura 8). Por el contrario, el menor aporte de sedimentos se observa en la subcuenca de Tir Halen. Esas diferencias se asocian a las características de la cobertura vegetal y controles geológicos. Estudios más recientes de teledetección realizados por Flaherty y Pascual (2018) indican que la subcuenca Tir Halen se distingue por una mayor extensión de la cobertura vegetal, mientras que en la subcuenca Charito predominan los suelos desnudos. Desde un punto de vista geomorfológico, Bilmes et al (2023) mostraron que la subcuenca Charito tiene el mayor potencialidad de producción de sedimentos en virtud de la presencia de badlands y escarpas de erosión, en contraste con la subcuenca de Tir Halen donde predominan los pedimentos y depósitos recientes (Tabla 1).

### Crecidas torrenciales en ambientes áridos

El monitoreo en la CEAS brinda nuevas posibilidades para el estudio de la generación de crecidas torrenciales en paisajes áridos de la Patagonia. En el contexto del VIRCh, los estudios

anteriores se han enfocado en la modelación hidrológica de transformación lluvia-caudal (Ruiz y Pongolini, 2002; Serra, 2004), con escasas posibilidades de calibración de parámetros en base a estimaciones de caudales en el paraje de Boca Toma (Kaless, 2021). Otra limitación ha sido la baja densidad de pluviómetros en la zona. A partir del año 1998 se implementó una red de alerta (Ruiz y Pongolini, 2002) que proveyó información de precipitación en 6 ubicaciones entre la represa y Boca Toma (Bastida et al., 2017), que representa una densidad de 1 dato de lluvia cada 180 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Para el caso de la CEAS, se espera aumentar la densidad en un orden de magnitud, con 1 equipo cada 13 km<sup>2</sup>.

Los eventos de lluvia que produjeron crecidas en el periodo 2018-2022 han sido en su mayoría de baja intensidad. De acuerdo al estudio de tormentas realizado por Chachero (2012), es posible afirmar que en 15 de 17 eventos, el tiempo de retorno evaluado con la intensidad máxima de 30 min fue menor o igual a 5 años. En cambio, el primer evento registrado, ocurrido el 26 de octubre de 2018, tuvo una recurrencia de 29 años. El estudio de caudales y volúmenes de escorrentía (Figuras 6 y 7, Tabla 3) evidencia efectos debido a la escala espacial (tales como distribución no uniforme de la precipitación, pérdidas por infiltración en el lecho de los arroyos) y el control ejercido por la cobertura del suelo y formaciones geológicas. Se espera que los datos recopilados en CEAS sean la base para la calibración de nuevos modelos de transformación lluvia-caudal que sean aplicables a todas las cuencas vecinas.

### Monitoreo en zonas áridas de Patagonia

La combinación de estructuras de muestreo en el interior del cauce y el uso de cámaras tipo time-lapse ha permitido el monitoreo del flujo de agua y sedimentos en una cuenca remota a un bajo costo. La construcción de canaletas de flujo crítico (Renard et al., 2008) o estructuras de aforo estaba fuera de presupuesto. Además, la ubicación remota y condiciones de seguridad hacían imposible la medición directa de la velocidad. Por lo tanto, hemos optado por llevar a cabo una determinación indirecta del caudal en base a la observación de los niveles hidrométricos y modelación hidrodinámica.

Las cámaras tipo time-lapse han sido utilizadas con anterioridad para el monitoreo de sistemas fluviales en localidades remotas. Gleason et al., (2015) monitorearon un río pro-glacial en Groenlandia y

aplicaron una metodología semi-supervisada para la medición del ancho del río, un proxy del caudal. Más aún, Leduc et al. (2018) también utilizaron estas cámaras en un contexto igualmente lejano para monitorear los niveles de agua. En este caso, emplearon un transductor de presión para validar el procesamiento automatizado de las imágenes. En el caso de CEAS, hemos aplicado un procedimiento completamente supervisado posibilitado por la baja frecuencia de eventos. Sin embargo, ha resultado difícil la lectura de la regla para niveles altos debido a la turbulencia y formación de una onda aguas arriba del tubo. Un procedimiento alternativo sería desarrollar un algoritmo que detecte la superficie libre y le asigne coordenadas a los píxeles, en base a un relevamiento topográfico previo de objetos reconocibles en las fotos (Leduc et al., 2018).

El uso de cámaras provee de información suplementaria, tal como las características de la superficie libre en niveles altos. Hemos podido verificar la formación de ondas estacionarias en el centro del canal en las estaciones de Tir Halen y Sagmata. Estas ondas han sido interpretadas en términos de interacción de flujos críticos con la morfología del lecho (Grant, 1997; Tinkler, 1997). La ocurrencia (o ausencia) de ondas posibilitaron realizar una confrontación con los resultados del modelo hidrodinámico.

La reconstrucción de crecidas pasadas utilizando modelos hidráulicos han sido conducidas generalmente en tramos con afloramientos de roca que garantizan la condición de lecho fijo (Denlinger et al., 2002; Heritage et al., 2019). En CEAS tal requerimiento no puede alcanzarse porque el lecho es aluvial. Por lo tanto, los tramos de estudio fueron seleccionados cuidadosamente evitando curvas y buscando la mayor estabilidad morfológica. A fin de monitorear el cambio de elevación del lecho se instalaron cadenas enterradas en el material aluvial. Esta investigación se encuentra en curso. Finalmente, dada la dificultad de realizar mediciones intrusivas, resulta poco probable la posibilidad de validar las curvas altura-caudal construidas mediante modelación. Sin embargo, el desarrollo de técnicas de velocimetría por imágenes (LSPIV, Large scale particle image velocimetry, Patalano et al., 2017) ofrece la posibilidad de determinar la velocidad superficial del escurrimiento en base a videos de crecidas. Asumiendo un perfil vertical de velocidad será posible relacionar el campo de velocidades medias calculadas con las observadas en superficie.

## CONCLUSIONES

La Cuenca Experimental Arroyo Sagmata representa una experiencia pionera en el monitoreo de procesos hidrológicos en cuencas de ambientes semiáridos de Patagonia. La escala espacial elegida (100 km<sup>2</sup>) para la cuenca principal es adecuada para el estudio y caracterización de los procesos hidrológicos en el VIRCH. En el presente artículo se ha presentado una caracterización de parámetros hidroambientales en base a un monitoreo de 4 años y la ocurrencia de 17 eventos de crecidas repentinas en los arroyos.

El caudal máximo registrado a la fecha asciende a 34.6 m<sup>3</sup>/s (caudal específico de 0.35 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) y la concentración máxima de sedimentos aportada al río Chubut ha sido medida en 60.6 g/l.

La información provista por CEAS resulta de importancia para la elaboración de estudios de riesgo hídrico y elaboración de proyectos de mitigación. La integración de datos de campo con productos de teledetección y mapeos geomorfológicos permite extrapolar el estudio a una escala de análisis mayor abarcando la totalidad de las cuencas torrenciales ubicadas entre el Dique Florentino Ameghino y Boca Toma.

Los trabajos futuros estarán direccionados, en lo que a instrumentación respecta, a la incorporación de dos nuevos pluviómetros, medición del nivel hidrométrico por ultrasonido, determinación de la velocidad superficial del flujo con técnicas de LSPIV para validar los resultados de los modelos hidrodinámicos, y muestreo continuo de sedimentos con medición por métodos ópticos. Además, se están llevando a cabo estudios para cuantificar la bondad del método indirecto en la determinación de los caudales en los arroyos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los dueños de los campos por permitir el acceso al área de estudio y colaborar durante los trabajos de campo. La investigación se ha realizado en el marco del proyecto “Aplicación de ingeniería verde para fomentar la retención de sedimentos en suelos del Valle Inferior del Río Chubut”, financiada por Danone División Aguas y The Nature Conservancy. Agradecemos la colaboración de numerosos estudiantes de la UNP-Sede Trelew en las tareas de campo.

## REFERENCIAS

- Bastida Arias, R., Crespo Guridi, L. E. y Kaless, G. (2017). *Calibración del modelo RUSLE-SEDD de pérdida y transporte de suelos. Caso de cuencas torrenciales en la Patagonia Central*. VII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Córdoba, Argentina.
- Bilmes, A., Pessacg, N., Alvarez, M. P., Brandizi, L., Cuitiño, J.L., Kaminker, S., Bouza, P.J., Rostagno, C. M., Núñez de la Rosa, D. y Canizzaro, A. (2016). *Inundaciones en Puerto Madryn: Relevamiento y diagnóstico del evento del 21 de Enero de 2016*. Informe Técnico CCT-CONICET CENPAT. Recuperado de <https://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/items/b81adae5-51d0-4ab4-b65b-42103ebb5df5>
- Bilmes, A., Cuitiño, J. I., Bouza, P., Scivetti, N., Rostagno, M. y Pascual, M. (2023). Critical areas for sediment delivery to the Chubut River, Patagonia Argentina: geomorphological evidence from the Sagmata pilot basin. *Journal of Maps* 19 (1). <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2244517>.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cedón, Dolz, J. y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*. 30(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Cea, L., Bladé, E., Sanz-Ramos, M., Fraga, I., Sañudo, E., García-Feal, O., Gómez-Gesteira, M. y González-Cao, J. (2020). *Benchmarking of the Iber capabilities for 2D free Surface flow modelling*. Servicio de Publicaciones. Universidade da Coruña. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497640>
- Chachero, M. J. (2012). Estudio de precipitaciones en la ciudad de Trelew, análisis estadístico y ecuación de lluvia. *Cuadernos del CURIHAM*, 18, 23-37. <https://doi.org/10.35305/curiham.v18i0.47>
- Coronato, A., Coronato, F., Mazzoni, E. y Vázquez, M. (2008). The physical geography of Patagonia and Tierra del Fuego. *Development of Quaternary Sciences*, 11, 13-55. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(07\)10003-8](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(07)10003-8)
- Costa, J. E. y Jarrett, R. D. (2008). *An evaluation of selected extraordinary floods in the United States reported by the U.S. Geological Survey and implications for future advancement of flood science*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5164. 232 p. <https://pubs.usgs.gov/sir/2008/5164/pdf/sir20085164.pdf>

- Del Valle, H. F., Blanco, P. D., Sione, W., Rostagno, C. M. y Elissalde, N. O. (2009). Assessment of salt-affected soils using multisensor radar data: A case study from Northeastern Patagonia (Argentina). En Metternicht, G., y Zinck A. (Eds.), *Remote sensing of soil salinization: Impact on land management* (1st ed, pp. 155–173). CRC Press.
- Denlinger, R. P., O’Connell, D. R. H. y House, P. (2002). Robust determination of stage and discharge: an example from an extreme flood on the Verde River, Arizona. En House, P. K., Webb, R. H., Baker, V. R., y Levish, D. R. (Ed) *Ancient Floods, Modern Hazard: Principles and applications of paleoflood hydrology*. (Vol 5, pp. 127-146). American Geophysical Union.
- Department of Transportation. (2015). *Geotechnical Test Method: Test Method and Discussion for the Particle Size Analysis of Soils by Hydrometer Method*. Nueva York, EE.UU. Geotechnical Engineering Bureau.
- Flaherty, S. y Pascual, M. (2018). *Mapeo de uso/cobertura del suelo con imágenes satelitales en el Valle Inferior del Río Chubut: comparación de sensores en un área piloto*. Conference XII Jornadas Nacionales de Geografía Física. Trelew, Argentina.
- Gleason, C. J., Smith, L. C., Finnegan, D. C., LeWinter, A. L., Pitcher, L.H. y Chu, V. W. (2015). Technical Note: Semi-automated effective width extraction from time-lapse RGB imagery of a remote, braided Greenlandic river. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 2963-2969. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2963-2015>
- Grant, G. E. (1997). Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams: a new hypothesis. *Water Resources Research*, 33(2), 349-358. <https://doi.org/10.1029/96WR03134>
- Griffiths, H. M. y Tooth, S. (2021). Remembering and forgetting floods and droughts: lessons from the Welsh colony in Patagonia. *Cultural geographies*, 28(2), 341-361. <https://doi.org/10.1177/1474474020963135>
- Heritage G., Entwistle, N., Milan, D. y Tooth, S. (2019) Quantifying and contextualising cyclone-driven, extreme flood magnitude in bedrock-influenced dryland rivers. *Advances in Water Resources* 123, 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.11.006>
- Jarret, R. D. y England, J. F. (2002). Reliability of paleostage Indicators for paleoflood studies. En House, P. K., Webb, R. H., Baker, V. R., y Levish, D. R. (Ed) *Ancient Floods, Modern Hazard: Principles and applications of paleoflood hydrology*. (Vol 5, pp. 91-109). American Geophysical Union.
- Kalass, G. (2021). Crónica de las inundaciones en el valle y la meseta del Chubut. Desde los relatos de los pioneros galeses a los informes técnicos (1865 – 2021). *Revista Párrafos Geográficos*, 20(2), 51-104. Recuperado de <http://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/parrafosgeograficos/article/view/641>
- Kalass, G., Pascual, M., Flaherty, S., Liberoff, A., García Asorey, M., Brandizi, L. y Pessacg, N. (2019a). 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: J. M. Paredes, (Ed.) *Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Visiones Múltiples para una ciudad en riesgo*. (1a ed., pp. 289-303) Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Kalass, G., Frumento, O., Bianchi, E. Chachero, M. J., Bastida, R. y Iglesias, S. (2019b). Cuando en el desierto patagónico los arroyos braman. Evento extraordinario de abril de 2017 en la cuenca del Arroyo Perdido. En: J. M. Paredes, (Ed.), *Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017. Visiones Múltiples para una ciudad en riesgo*. (1a ed., pp. 273-288). Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Kalass, G., Bastida, R., Iglesias, S., Belcaro, F., Villar, M., Brandizi, L., Díaz Fariás, C., Rubinch Queupan, M., Bianchi, E., Zappellini, D. y Serra, J. (2023). Estimación del caudal máximo de inundaciones históricas em arroyos efímeros. Casos de la Patagonia semiárida (Argentina). *Cuadernos de Ingeniería Civil Hidráulica*. Aceptado para publicación.
- Kehew, A. E., Milewski, A. y Soliman, F. (2010). Reconstructing an extreme flood from boulder transport and rainfall-runoff modelling: Wadi Isla, South Sinai, Egypt. *Global and Planetary Change* 70, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.008>
- Leduc, P., Ashmore, P. y Sjogren, D. (2018). Technical note: Stage and water width measurement of a mountain stream using a simple time-lapse camera. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 1-11. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1-2018>
- Luque, J. y Beider, A. (2002). *Caracterización de una Cuenca Degradada por Erosión Hírica en la Pcia. de Chubut. Incidencia de las características Físicas*. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Argentina.

- Martínez Carretero, E. (2013). La Diagonal Árida Argentina: entidad bio-climática. En: D.R. Pérez D.R., Rovere, A.E. y Rodríguez Araujo, M.E. (Ed.) *Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina* (1a ed., 14-31). Vázquez Mazzini Editores.
- Middleton, N. y Thomas, D. (1992) *World atlas of desertification*. 2nd edition. Londres, Reino Unido, Arnold.
- Paredes, J. M., Ocampo, S. M., Foix, N., Olazabal, S. X., Valle, M. N. y Allard, J. O. (2021). Geomorphic and Sedimentological Impact of the 2017 Flash Flood Event in the City of Comodoro Rivadavia (Central Patagonia, Argentina). En P. Bouza, Rabassa, J., Bilmes, A. (Ed) *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina. Proceedings of the Seventh Argentine Geomorphology and Quaternary Studies Congress* (1st. ed., 3-29). Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66161-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66161-8_1)
- Parsons, A. J. y Abrahams, A. D. (2009). Geomorphology of desert environments. En A.J., Parsons, y Abrahams, A.D., (Eds) *Geomorphology of desert environments*, (2nd ed., 3-7). Springer Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_1).
- Patalano, A., García, C. M. y Rodríguez, A. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Computer and Geosciences* 109, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.07.009>
- Pessag, N., Flaherty, S., Solman, S. y Pascual, M. (2020). Climate change in northern Patagonia: critical decrease in water resources. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 807-822. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03104-8>
- Pessag, N., Blázquez, J., Lancelotti, J. y Solman, S. (2021). Climate changes in coastal areas of Patagonia: observed trends and future projections. En E.W. Helbling, Narvarte, M. A., González, R. A., y Villafañe, V. (Eds.) *Global Change in Atlantic Coastal Patagonian Ecosystems, A Journey Through Time* (1st. ed., 13-42). Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86676-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86676-1_2)
- Prohaska, F. (1976). The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En E. Schwerdtfeger., (Ed.) *Climate of Central and South America. World Survey of Climatology* (57-69). Amsterdam, Países Bajos, Elsevier.
- Reid, I., Laronne, B. L. y Powell, D. M. (1998). Flash-flood and bedload dynamics of desert gravel-bed streams. *Hydrological Processes* 12. 543-557. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19980330\)12:4<543::AID-HYP593>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19980330)12:4<543::AID-HYP593>3.0.CO;2-C)
- Renard, K. G. y Keppel, R. V. (1966). Hydrographs of ephemeral streams in the Southwest. *Journal of the Hydraulics Division*, 92 (2), 33-52. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001419>
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. y Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. Washington D.C. Estados Unidos. U.S. Department of Agriculture.
- Renard, K. G., Nichols, M. H., Woolhiser, D. A. y Osborn, H. B. (2008). A brief background on the U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service Walnut Gulch Experimental Watershed. *Water Resources Research*, 44, 1-11. <https://doi.org/10.1029/2006WR005691>
- Roache, P. J. (1997). Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 29, 123-160. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.29.1.123>
- Rostagno, C., Coronato, F., Del Valle, H. y Puebla, D. (1999). Runoff and Erosion in Five Land Units of a Closed Basin of Northeastern Patagonia. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13(3), 281-292. <https://doi.org/10.1080/089030699263311>
- Ruiz, A. H. y Pongolini, A. S. (2002). *Emergencia hídrica de agosto de 2001 en el Río Chubut. Respuesta de la red de alerta*. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina.
- Serra, J. (1999). Riesgo de erosión hídrica en el cuenco aluvional del área Dique F. Ameghino y Boca Toma, Valle Inferior del Río Chubut. *Cuadernos del CURIHAM*, 5(2), 63-83.
- Serra, J. (2004). Urbanización e inundaciones em sistemas hídricos del centro de la Región Patagónica. En Bertoni, J. C. (Ed.) *Inundaciones urbanas en Argentina* (155-196) Córdoba, Argentina, Estudio Tríptico.
- Tinkler, K. J. (1997). Critical flow in rockbed streams with estimated values for Manning's n. *Geomorphology* 20 (1 y 2), 147-164. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00011-1)

**Tipo de Publicación: ARTICULO.**

**Trabajo recibido el 26/09/2023, aprobado para su publicación el 23/11/2023 y publicado el 15/12/2023.**

## COMO CITAR

Kaless, G., Frumento, O., Malnero, H. A. y Pascual, M. A. (2023). Cuenca Experimental Arroyo Sagmata: monitoreo de crecidas torrenciales en arroyos efímeros de la Patagonia Semiárida (Pcia. del Chubut, Argentina). *Cuadernos del CURIHAM*, 29. e192. <https://doi.org/10.35305/curiham.v29i.e192>

## ROLES DE AUTORIA

GK contribuyó con el análisis formal, redacción y visualización de los resultados. OF contribuyó con la instalación, mantenimiento de pluviómetros y procesamientos de registros. GK, MP y AM contribuyeron con la instalación de equipos en arroyos, relevamientos de campo, procesamientos fotogramétricos, y conceptualización del proyecto. MP contribuyó con la supervisión, adquisición de fondos y administración del proyecto.

Los autores aprobaron la versión final para ser publicada y son capaces de responder respecto a todos los aspectos del manuscrito.

*Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)*

