DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE DAÑOS y FLUJO DE AGUA DE ESCORRENTÍA ORIGINADOS POR LA TORMENTA 7-MARZO-2025 EN BAHIA BLANCA

Ings. Agrs. (Dr.) Carlos Torres Carbonell[1,2], (Mg.) Andrea Lauric[1], Gerónimo De Leo[1] y Dr. Martin Espósito[2]

1) INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Estación Experimental Agropecuaria Bordenave
Agencia Extensión Bahía Blanca

2) UNS - Universidad Nacional del Sur, Dpto. Agronomía

RESUMEN

La inundación en Bahia Blanca el 7-3-2025 se debió a una alta intensidad de lluvia sin precedentes sobre la ciudad y parte de la cuenca del Napostá. El objetivo de este trabajo fue identificar el movimiento del agua de escorrentía en la cuenca, realizar estimaciones de caudal a partir de los registros en los establecimientos rurales distribuidos en esta. Se determinó una superficie de afluencia de agua de 9.000 ha respecto las casi 130.000 ha que posee la cuenca. La corriente más significativa ingreso de la ladera oeste del cauce cruzando el camino de la Carrindanga a la altura del cementerio Parque de Paz a 2 km del puente sobre camino de la carrindanga (Autovía Atilio Fruet). El caudal promedio de evacuación fue de 140 m^3/seg. pero el caudal de punta de crecida alcanzó los 906 m^3/seg sobre la confluencia del canal Maldonado y Napostá que generó el colapso en función de la capacidad de dicho sistema (300 m^3/seg). Finalmente, se interpreta la información de campo obtenida en relación con las prospectivas de variabilidad climática y se analizar medidas para mitigar futuros eventos similares bajo el concepto de manejo integrado de cuenca. Se señalan como fundamentales las acciones en el espacio rural y urbano para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y la necesidad de ampliación de los canales naturales de evacuación mencionados.

INTRODUCCIÓN

El 7 de marzo de 2025, Bahía Blanca sufrió una devastadora inundación. En tan solo ocho horas, se registraron precipitaciones de aproximadamente 400 mm, cifra que representa casi dos tercios del promedio anual de la región (630 mm). Este evento extremo causó pérdidas de vidas humanas, miles de evacuados y pérdidas económicas estimadas en más $400.000 millones (U$S 312 millones), afectando viviendas, infraestructura vial y servicios esenciales (AF, 2025).

Características de la región relacionadas al siniestro:

La región presenta un clima semiárido templado con recurrencia de periodos de alta humedad y sequía. No obstante, las tormentas de alta precipitación e intensidad en la historia de la región son un hecho recurrente y periódico (Campos et al., 2011) como demuestran las inundaciones de 1933 y 1944 o las crecidas de los cursos de agua de afluencia afortunadamente sin impacto negativo como en 2002 y 2011.

La ciudad de Blanca se ubica al final de la pendiente subventánica, entre las sierras australes de Buenos Aires y el mar. Son pendientes suaves a moderadas, con suelos de baja infiltración, con poca profundidad y una alta susceptibilidad a la erosión (INTA, 1990). Durante eventos de lluvias extremas, estas características generan una rápida escorrentía superficial, que es el agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo en el lugar de caída y circula por la superficie siguiendo la pendiente en forma de corriente. Este hecho aumenta el caudal de los arroyos que normalmente en las épocas secas son de muy bajo caudal (Lambrecht et al., 2024).

OBJETIVO

El objetivo de este informe fue realizar una evaluación preliminar de los escurrimientos superficiales generado por los registros pluviométricos que dieron origen a una inundación sin precedentes, identificar en el terreno factores relacionados con la magnitud del desastre y realizar estimaciones de caudal promedio y de punta sobre el derivador que divide las aguas al canal Maldonado y arroyo Napostá. Finalmente interpretar la información de campo obtenida, relacionarla con prospectivas de variabilidad climática y analizar medidas para mitigar futuros eventos similares bajo el concepto de manejo integrado de cuenca[1].

MATERIALES Y METODOS

Para organizar el trabajo se sintetizaron los principales resultados y la información de campo detallada se expone en el Anexo I y II.

El 18-3-25 se realizó un relevamiento en los establecimientos rurales de la cuenca del arroyo Napostá para registrar niveles de precipitación, movimientos del agua y altura de inundación alcanzada, incorporando información esencial de observaciones, características del suelo y vegetación en el

[1] Se entiende por **cuenca** al territorio delimitado por divisorias de aguas, donde toda la precipitación que cae en su superficie escurre hacia un punto común.

terreno, fotos y videos proporcionados por los pobladores rurales distribuidos en dicha cuenca.

La traza monitoreada de la Cuenca del arroyo Napostá comienza desde el derivador Maldonado del Arroyo ubicado en el parque de Mayo hasta el Puente Canesa, monitoreando las pendientes de alimentación natural de agua a cada margen de este. El derivador divide el curso superficial en el canal Maldonado y el arroyo Napostá.

En segunda instancia se identificaron los sitios con signos de escorrentía permitiendo tomar mayor compresión de los lugares naturales de afluencia hídrica, dirección y dinámica de movimiento del agua, que se complementaron con mediciones de curvas de iso nivel topográfico.

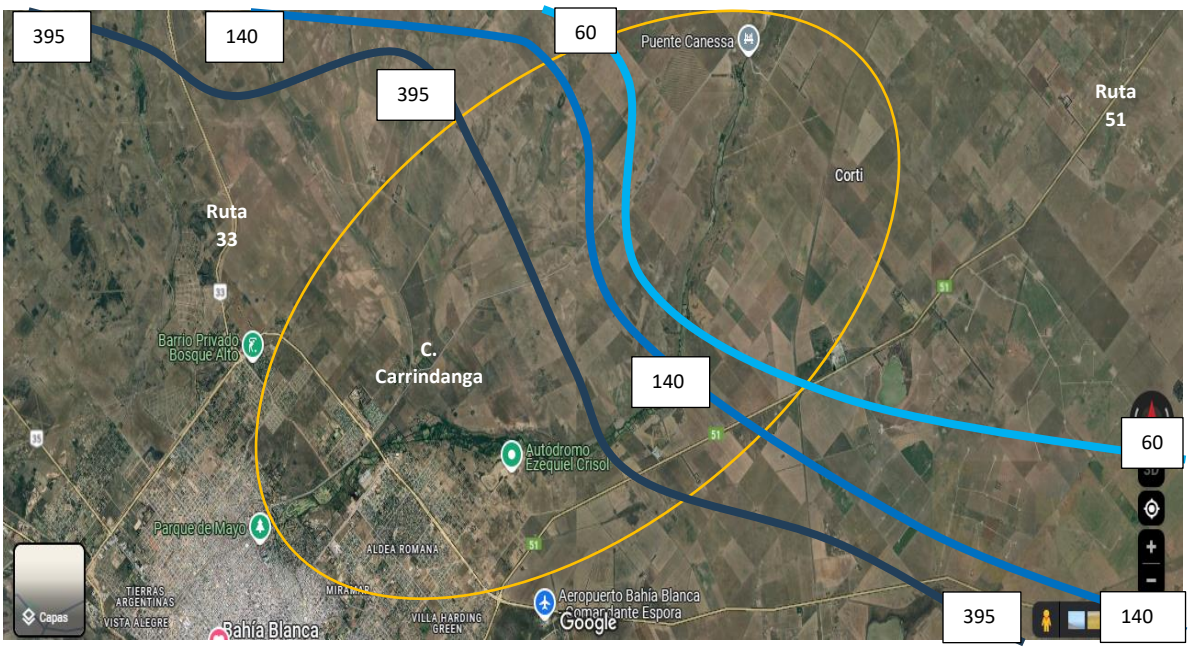
La información consolidada posibilitó la elaboración de mapas del evento, así como la estimación de indicadores hídricos básicos (MMAGB, 2011), facilitando la identificación de estrategias de mitigación para futuros eventos extremos de esta naturaleza.

RESULTADOS:

Características de las precipitaciones, pendientes y movimiento del agua

La Figura 1 muestra el área monitoreada con las trazas de las isohietas, líneas que unen establecimientos rurales con registros similares de precipitación durante la tormenta del 7 de marzo de 2025.

Figura 1. Sector de la cuenca del arroyo Napostá desde el derivador hasta el Puente Canesa y distribución de la lluvia durante el evento ocurrido

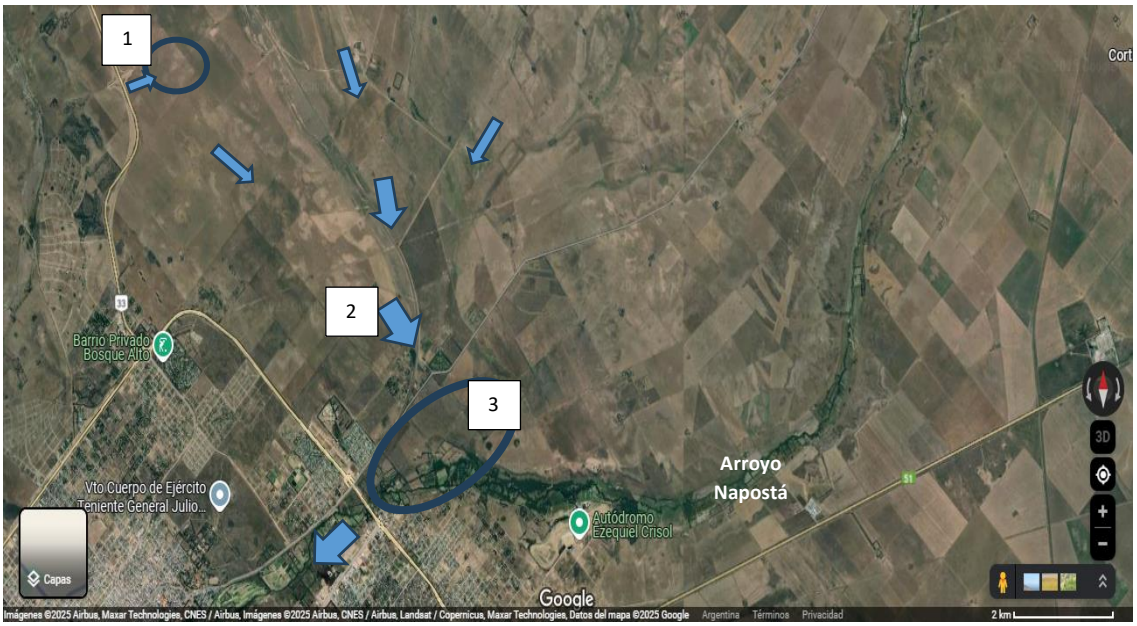


Referencias: Curvas de isohietas de la cantidad de milímetros precipitados durante el día de la tormenta del 7-3-25.

La Figura 1 permite visualizar que las lluvias de mayor intensidad que superaron ampliamente la tasa de infiltración de los suelos ocasionando los mayores problemas por las escorrentías aportadas que generaron el desborde del arroyo y canal, se ubicaron sobre la ciudad de Bahía Blanca, principalmente sobre el sector rural noroeste entre las rutas 33 y carrindanga a menos de 20 km de la ciudad.

La Figura 2 expone los sitios donde se identificaron los movimientos e ingresos de agua masivos por escorrentía al lecho del arroyo Napostá, previo a su ingreso a la confluencia con el canal Maldonado. En la Figura 2 también se encuentran especificadas las zonas de inundación en función de los registros fotográficos rurales y las observaciones de lagunas temporales.

Figura 2. Sitios de inundación y movimiento del agua al arroyo Napostá producido por el evento del 7-3-25



Referencias: **Círculos azules**: zonas de inundación por la recepción de escorrentía y formación de lagunas temporales. **Flechas azules: escurrimientos directos**

Se especificaron 3 sitios topográficos donde se observaron las siguientes características relevantes:

-Sitio 1: Ingreso de la escorrentía desde las banquinas este de la ruta 33 en dirección al arroyo Napostá. Las precipitaciones ocurridas sobre le sector de la banquina oeste escurrieron el agua al arroyo Saladillo de García.

-Sitio 2: Ingreso de agua de la ladera oeste al curso Napostá sobre camino de la Carrindanga.

-Sitio 3: Llanura de inundación en valle del Napostá a la vera oeste del arroyo hasta camino de la Carrindanga (Frente a Cementerio Parque de Paz) ralentizando el ingreso de excedentes a la ciudad de Bahía Blanca.

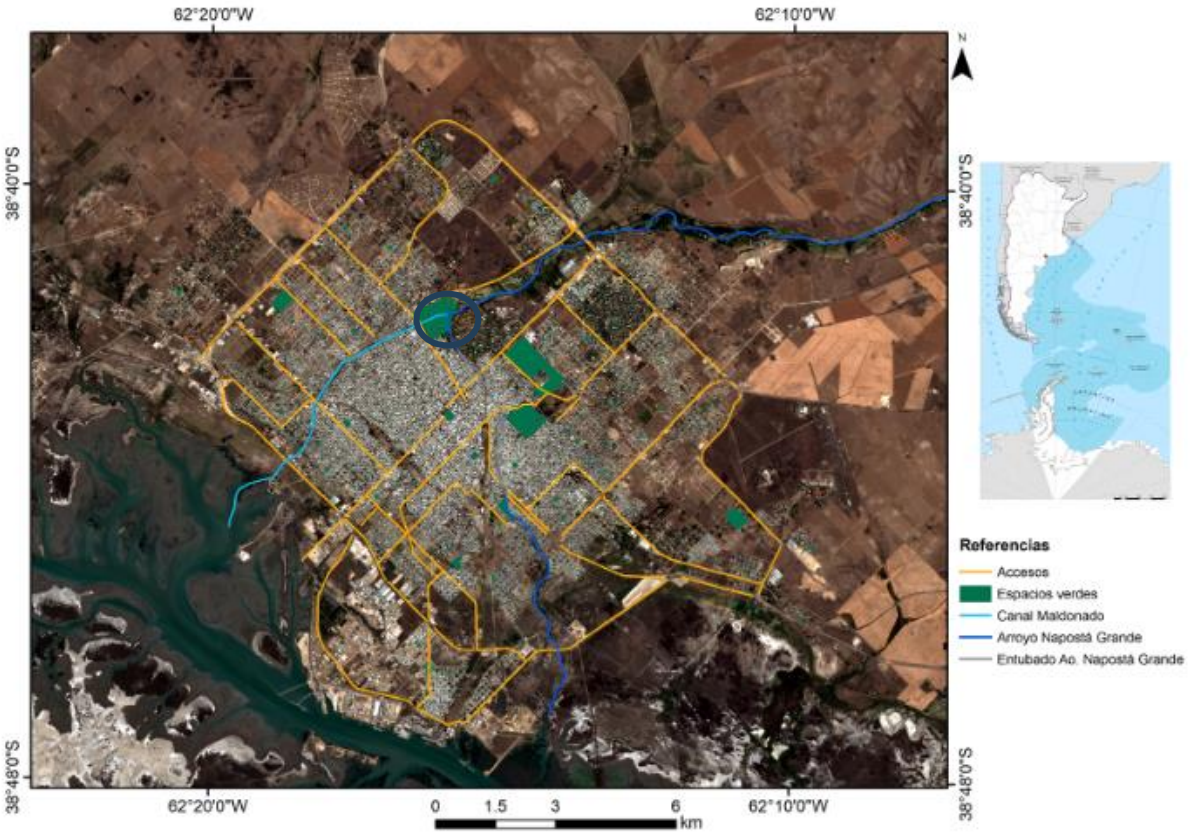
La descripción de la dinámica del escurrimiento del agua identificada en el terreno se expone en el **Anexo I** con el registro fotográfico correspondiente, dada su extensión. En la Figura 3 se visualiza el mapa urbano con la localización de la confluencia del Arroyo Napostá y el Canal Maldonado. Mientras en la Figura 4 se expone la determinación del área de contribución hídrica durante la tormenta del 7-3-25 a dicha intersección.

Cabe destacar que los pobladores rurales vecinos al arroyo Napostá reportaron que el mismo no elevó su caudal y altura significativamente y no rebalsó como en otras ocasiones, lo cual es coherente con precipitaciones de 60 mm sobre su curso norte. Sin embargo, se observó un rebalse inusitado de agua desde las laderas oeste del camino de la Carrindanga que confluyó en la llanura de inundación del arroyo como muestra la Figura 2.

Estimación de caudales medio y de punta de crecida

Posteriormente, a partir de esta información de como operaron las variables hídricas en esta cuenca durante la tormenta se realizaron cálculos hidráulicos preliminares de los caudales medios y caudal de punta (caudal máximo alcanzado en la crecida en el momento de mayor escurrimiento) en el sitio de concentración confluencia Arroyo Maldonado con Arroyo Napostá que se exponen en el **Anexo II.**

Figura 3. Mapa urbano de Bahia Blanca con los cursos del Arroyo Napostá y derivador Maldonado



Referencia: **Circulo azul**: Punto de confluencia del Arroyo Napostá y derivador Maldonado sobre Imagen adaptada de Lambrecht et, al. (2024).

Es importante especificar que los cálculos de caudal presentados en el **Anexo II** han sido obtenidos a partir de estimaciones basadas en las mediciones indirectas mencionadas y datos preliminares debido a la ausencia de instrumental de medición y monitoreo instalado antes de la tormenta en la cuenca. No obstante, constituyen una aproximación fundamental ante la ausencia de registros hidrométricos precisos.

En situaciones de emergencia hídrica, como la presente post-inundación, más allá de su carácter preliminar, estos resultados pueden proporcionan un marco cuantitativo básico para comprender los patrones de respuesta hidrológica del sistema y establecer niveles de referencia para la planificación y mitigación del riesgo de inundaciones. Asimismo, constituyen un insumo clave para la formulación de estrategias de gestión integrada del recurso hídrico, orientadas a mejorar la capacidad de previsión y reducir la vulnerabilidad ante eventos extremos en el futuro.

Figura 4. Estimación del área de aporte de agua a la confluencia arroyo Napostá y Canal - Maldonado durante la tormenta del 7-3-25

A partir de la información relevada en las Figuras 1 y 2, el área de aporte de agua durante la tormenta del 7 de marzo de 2025 en la confluencia del Canal Maldonado y el Arroyo Napostá (Figura 4), se pudo determinar en una superficie aproximada de 9.000 ha. La precipitación promedio registrada fue de 395 mm, lo que equivale a una lámina de agua de 39,5 cm. Dado que el suelo se encontraba en capacidad de campo saturado sin mayor capacidad de absorción, debido a lluvias previas, considerando una baja infiltración con pendiente y una retención limitada en lagunas temporales, se estima que aproximadamente el 75% de la precipitación escurrió hacia la confluencia. Esto representa un volumen total de escorrentía de 24.232.500 m³ de agua que según los reportes de los vecinos de la zona inundación demoró 24 hs en transitar la cuenca.

Sobre esta información base, se puedo estimar un caudal medio en el punto de salida de la cuenca de 140 m³/s. Que se condeciría muy próximamente con la capacidad reportada de evacuación del canal Maldonado más el arroyo Napostá de 300 m³/s UTN, 2018). Sin embargo, cuando se analiza el caudal de punta de crecida que se determina con los datos mayor intensidad de lluvias de 290 mm en 6 hs (Garreud et al.,2025) el impacto fue significativamente mayor **906 m³/s.**

La intensidad de la precipitación es el principal factor que determina un alto caudal de punta y no se puede controlar, pero la dinámica del escurrimiento en la cuenca y los sistemas de evacuación en la ciudad son el objetivo principal sobre a aplicar estrategias que **ralenticen, retengan y evacuen** el escurrimiento del agua.

Tabla 1. Simulación de la disminución del caudal de punta a partir del coeficiente de escurrimiento para el modelo de tormenta y sitio bajo estudio

Escurrimiento (%)	Caudal de Punta (m^3/s)
75	937
60	750
40	500

La Tabla 1 muestra que, a partir del cálculo de los indicadores anteriores (MMAGB, 2011) si se lograra sistematizar las obras en la cuenca rural, así como en los parques periurbanos y urbanos de inundación, mediante un estudio de cuenca, se podría reducir el caudal de punta en un 53% respecto al registrado (500 m^3/s), al ralentizar y retener temporalmente el agua, disminuyendo los coeficientes de escurrimiento. Además, la implementación de obras de ampliación de los canales naturales de desagüe, como el sistema Maldonado-Arroyo Napostá, a un nivel superior al actual (300 m^3/s), contribuiría de manera significativa a mitigar el problema de las inundaciones. Por lo cual, un aporte importante sería incrementar la sección del arroyo Napostá desde el derivador hasta la desembocadura. Para lo cual, se recomienda complementar estos cálculos con modelos hidrodinámicos que consideren el efecto del almacenamiento superficial, las pendientes y la variabilidad en la distribución espacial de la lluvia.

Este aspecto es fundamental, ya que el estudio realizado por la Dirección de Hidráulica en 1947 estimó que la mayor crecida registrada alcanzó caudales cercanos a 500 m^3/s. Se suponía que los excedentes por encima de 300 m^3/s se distribuirían en una llanura de inundación más amplia que en 1944. Sin embargo, el crecimiento urbano y la consecuente reducción de superficies permeables en las últimas décadas han disminuido la capacidad de infiltración, lo que podría intensificar la escorrentía y aumentar el riesgo de inundaciones (UTN, 2018).

Hoy las presentes estimaciones de caudales de punta demuestran la necesidad de enfocar y trabajar cotas niveles de previsión de capacidad de drenaje mucho mayores.

DISCUSION: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CONSIDERACIONES

En función de estos resultados preliminares se discuten y profundizan los siguientes aspectos.

1) La Figura 1 permite observar que la alta intensidad de lluvia que ocasionó la inundación aconteció sobre la ciudad y las pendientes noroeste que vuelcan sobre el lecho del Napostá a no más de 15 km del ejido urbano (hasta zona Cementerio Parque de Paz). Al norte de esta referencia solo se observaron lluvias normales en promedio de 60 mm que fueron casi totalmente infiltradas en el suelo según los relevamientos de los registros de establecimientos de la zona. Además, no se observaron signos de escorrentía, ni observaciones en los establecimientos vecinos al arroyo de elevación significativa del nivel normal del agua antes y después del puente Canesa.
   Este hecho permitiría inferir que el proyecto de una represa en puente Canesa no hubiera evitado la catástrofe observada, ya que los altos caudales hídricos ingresaron aguas abajo del Puente

Canesa. No obstante, si hubiese protegido a la ciudad si este nivel de intensidad de lluvias se hubiera manifestado en un área más extensa involucrando el norte de la región de toda la cuenca alta del Napostá desde las serranías de la zona de Ventania en el Partido de Tornquist, evitando una catástrofe de mayor magnitud (Schefer, 2012). En este sentido la superficie afectada por lluvias que provocó la inundación de la confluencia Maldonado Napostá fue de 9.000 ha. Mientras la estimación de la cuenca total del Arroyo Napostá que afortunadamente el 7 de marzo no experimentó la alta intensidad de lluvias descripta es de un total de 130.000 ha (Garreaud et al., 2025). Lo cual requeriría obras de prevención aguas arriba como la citada presa, complementada con estudios geológicos de subsuelo correspondientes para su seguridad (Quattrocchio, 2023).

Las estimaciones preliminares de una lluvia intensa con altos volúmenes de agua en la cuenca baja del Napostá sobre la confluencia del Maldonado -Napostá resalta la necesidad de estudiar proyectos de ampliación de su capacidad de conducción (Schefer, 2012) como de su mantenimiento continuo (Señas et al., 2005). En el caso del Maldonado parecería existir mayores posibilidades por cuestiones de mayor disponibilidad de espacio. En el caso del curso urbano del Napostá sería importante estudiar alternativas para el aumento de su capacidad de transporte. Asimismo, un aspecto no analizado en este trabajo, pero muy importante es como facilitar el ingreso de la muy alta afluencia de agua de los sistemas naturales de drenaje de una gran parte de la ciudad de las laderas nor-este que por su pendiente desembocarían en el curso que se encuentra entubado.
El crecimiento de la ciudad ladera arriba con edificaciones techadas y asfalto en las calles aumenta el coeficiente de escurrimiento de agua hacia el mismo. Un canal a cielo abierto incrementa sustantivamente la capacidad del ingreso directo de estos excesos de agua, sin las limitantes de un entubado, disminuyendo la inundación en la parte urbana próxima a este curso dentro de la ciudad. La sistematización de espacio de retención y/o ralentización del escurrimiento en las laderas de esta zona también debería analizarse en detalle (parque Independencia, Boronat, El Pinar, Campaña del Desierto, Plaza Central Palihue, plaza Villa Mitre, y otros espacios verdes o aun no construidos). La ampliación de ambos canales debería priorizarse ya que como se observa en este trabajo son los sistemas naturales de evacuación de excesos de agua. Estas cuestiones deberían ser analizadas de la mano de la planificación urbana a largo plazo. En este sentido en Zapperi (2012) se encuentran una serie de interesantes propuestas de planificación urbana para minimizar el impacto hidrológico y optimizar el drenaje frente al crecimiento de la ciudad.

Además de la ampliación del Maldonado y Napostá donde la confluencia está a 31 m s.n.m es crucial revisar y optimizar la red de desagües pluviales urbanos, asegurando su capacidad y mantenimiento ya que varios barrios en zonas más altas sufrieron eventos de inundación. En las zonas de muy baja pendiente como Ingeniero White (5 m s.n.m), donde el agua ingresó principalmente desde el sector noroeste vinculados el estuario y la desembocadura del arroyo Napostá se debería revisar la canalizar los escurrimientos para facilitar el drenaje hacia la ría, evitando anegamientos prolongados.

La implementación de un plan de manejo integrado de la cuenca del arroyo Napostá es fundamental tanto para la protección de la ciudad como para la sustentabilidad del sector agropecuario. La incorporación de prácticas de manejo de suelos en todas las pendientes desde su naciente, como curvas de nivel, endicamientos y cobertura vegetal, permitiría ralentizar el escurrimiento del agua y reducir la afluencia súbita al cauce del arroyo, mitigando el riesgo de inundaciones en áreas urbanas. Desde el punto de vista agronómico, estas prácticas no solo

contribuyen a la regulación hídrica, sino que también favorecen la retención de agua en el suelo en una región semiárida, lo que resulta clave para mejorar la productividad de cultivos de cosecha y forrajeros. Además, al disminuir la velocidad del agua, se reducen los procesos erosivos, preservando la fertilidad del suelo y promoviendo una mayor estabilidad en la producción agropecuaria, evitando perdidas de alambrados, infraestructuras y animales. En el mediano plazo, este enfoque integrado generaría un impacto positivo tanto en la resiliencia de la ciudad ante eventos climáticos extremos como en la economía del sector agropecuario, asegurando una conversión más eficiente del recurso pluvial en producción.

Se debería valorizar estratégicamente las zonas rurales periurbanas como el sector 3 analizado en este trabajo (Anexo I), localizadas en la cuenca del arroyo Napostá adyacente al ejido urbano por su alta función preventiva, su capacidad de mitigación de la escorrentía. Por lo tanto, estas áreas no deberían nunca ser urbanizadas, ya que su transformación en espacios urbanos comprometería gravemente su función de regular el agua y proteger la ciudad aguas debajo de mayores desastres. Asimismo, en otras zonas parquizadas como las llanuras de inundación de camino de la carrindanga, banquinas de calles y vías de ferrocarril, parque de Mayo, etc. podrían promoverse obras de ajuste con niveles en sus contornos para operar como embalses temporales en caso de inundación. Asimismo, realizar la implantación de pasturas de agropiro y algunas especies forestales que aumentarían significativamente la capacidad de infiltración de agua y disminución de la velocidad de escorrentía en esas áreas extensas verdes en el cauce natural del Napostá.

Uno de los aspectos positivos de la localización de la ciudad de Bahía Blanca, en comparación con otras regiones de la Provincia de Buenos Aires, es que, al encontrarse en una zona de pendiente, los excesos de lluvia se escurren de manera más eficiente. A diferencia de gran parte de la provincia, especialmente en la región de la pampa deprimida, donde el agua puede permanecer estancada durante meses tras eventos de lluvia extrema, Bahía Blanca cuenta con un sistema de escurrimiento natural más eficaz. La pendiente en el terreno permite que el agua drene rápidamente hacia el sistema de arroyos y canales, reduciendo el riesgo de anegamientos prolongados. Este comportamiento hidrológico evita problemas crónicos de inundación como los que afectan a localidades de la Cuenca del Salado, donde la falta de pendiente dificulta la evacuación del agua acumulada. Sin embargo, esta rápida evacuación del agua puede generar caudales de punta excesivos, aumentando el riesgo de desbordes e inundaciones en sectores urbanos. Por ello, es fundamental una gestión integral de la cuenca que administre el escurrimiento, incorporando medidas de retención y conducción adecuadas para canalizar el drenaje sin comprometer infraestructuras y áreas habitadas de la ciudad.

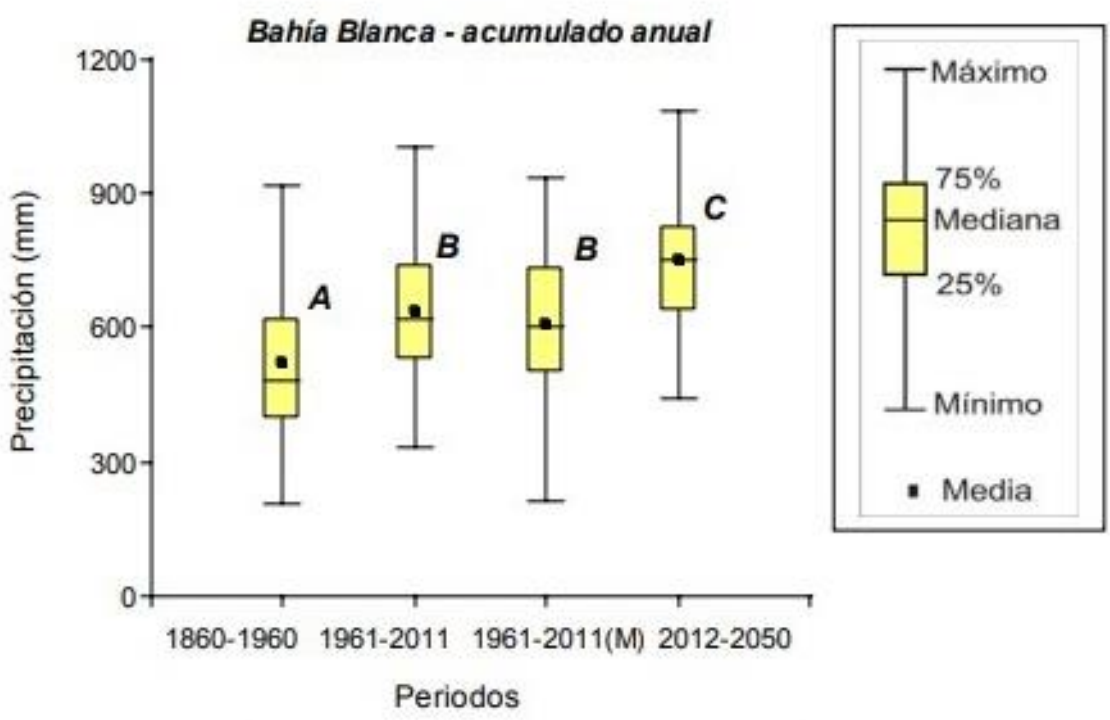
Se subraya la necesidad de implementar un sistema de monitoreo hidrometeorológico con instrumental de alta precisión, como estaciones pluviométricas automatizadas vinculadas al Servicio Meteorológico Nacional, sensores de nivel en cauces y sistemas de modelado en tiempo real, limita la capacidad de análisis y respuesta inteligentes ante eventos extremos. La instalación de estos dispositivos permitiría refinar las estimaciones de caudal preliminares de este estudio, mejorar la modelización hidrológica y fortalecer la capacidad de previsión ante futuras crecidas. Un comité municipal de gestión de cuenca y riesgo de inundaciones *ad-referéndum* sería importante. La capacitación profesional, de los servicios públicos y comunidad civil para abordar este tipo de eventos también resulta un aspecto esencial.

Estas mismas recomendaciones se analizarán en un segundo trabajo sobre la situación específica de la inundación en la localidad de General Daniel Cerri, donde el movimiento del agua se originó en la cuenca vecina del Saladillo de García y Sauce Chico, ingresando principalmente desde la zona rural ubicada detrás del sector próximo a la planta de Transportadora Gas del Sur.

Mientras que en muchas otras ciudades la toma de decisiones de las autoridades políticas depende de información genérica o externa, en Bahía Blanca se dispone de un sistema de generación de conocimiento científico local a partir de la presencia de la UNS, UTN, CONICET e INTA que aportan conocimiento adaptado a las condiciones específicas de la región para fortalecer el crecimiento sostenible como estrategias de mitigación para la ciudad.

Prospectiva futura calentamiento global y efecto sobre las precipitaciones:

Figura 5. Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca para diferentes periodos históricos y modelado futuro



Referencias: 1860-1960= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), 1961-2011= Periodo histórico real 1961-2011(n=51), 1961-2011(M)= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), 2012-2050= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39). Letras distintas indican diferencias significativas por test Kruskal - Wallis ($p<0,05$).

Finalmente, la Figura 5 muestra el comportamiento histórico y las proyecciones futuras de la precipitación acumulada anual en Bahía Blanca en un estudio realizado por Torres Carbonell (2014) con el Lic, Zotelo del Conicet a través de un ensamble de modelos de simulación climática regional sobre los escenarios de cambio climático A2 y B2 aplicada a la zona. En el mismo se observaba para el período 2012-2050 modelado una mediana (+ 130 mm) y extremos totales anuales de precipitación mayor a los períodos históricos. El IPCC (2023) reporta que el cambio climático en los últimos años es generalizado, rápido y se está intensificando, por lo que, aunque las lluvias pueden no ser extremas todo el tiempo, la variabilidad climática podría generar eventos más intensos o frecuentes. Motivo por el cual en nuestra zona los dimensionamientos futuros de los canales de drenaje y estrategias de mitigación deberían ser mayores a las que señalan los registros históricos por encontrarnos en tiempos de transición dados por la progresión de emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global actuales.

ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA:

Para reducir el **caudal de punta**, dado que la intensidad de lluvia no se puede controlar, es necesario aplicar estrategias que **ralenticen, retengan y distribuyan** el escurrimiento del agua en la cuenca. Algunas medidas clave incluirían:

1. Retención y Almacenamiento en la Cuenca

- **Construcción de embalses y reservorios temporales**: Permiten acumular parte del agua de escorrentía y liberarla gradualmente a menor velocidad.
- **Endicamientos o diques de retardo** en sectores estratégicos del cauce o laderas de la ciudad: Reducen la velocidad del flujo.
- **Pastizales naturales, parques estatégicos, humedales y lagunas de amortiguación**: Capturan el exceso de agua, actúan como reguladores naturales del caudal y permiten infiltración.
- **Pasturas de pasto llorón en lomas con alta pendiente, pasturas de agropiro en bajos inundables, pastizales naturales:** Especies que toleran los periodos secos de la zona semiárida con alta densidad de sus sistemas de raíces contribuyen a retener los flujos de agua en momentos de lluvias intensas.

2. Manejo del Escurrimiento Superficial en Áreas Rurales

- **Curvas de nivel y terrazas de infiltración**: Disminuyen la velocidad del agua en terrenos con pendiente y aumentan la infiltración y acumulación de agua en el suelo para alcanzar mayores rendimientos de los cultivos.
- **Cobertura vegetal permanente, pasturas perennes, rotación de cultivos adecuada**: Mejoran la estructura del suelo, favoreciendo la absorción del agua.
- **Sistemas de siembra en franjas y cultivos en fajas transversales a las pendientes**: Reducen la erosión y el escurrimiento superficial.

3. Infraestructura Urbana Adaptada

- **Ampliación, apertura y mantenimiento de canales de evacuación**: Principalmente Maldonado y Arroyo Napostá, pero revisar todo el sistema de drenaje menor. Evitar obstrucciones y mejorar la capacidad de conducción del agua.
- **Sistemas de drenaje sostenibles**: Uso de pavimentos permeables, zanjas de infiltración, acequias y endicamientos para reducir la velocidad de bajada del agua por los pavimentos, techos verdes para disminuir la escorrentía urbana.
- **Regulación del crecimiento urbano**: Evitar construcciones en zonas de alto riesgo y respetar las áreas naturales de escurrimiento.

4. Planificación y Gestión Integral de la Cuenca

- **Implementación de un sistema de alerta temprana** con sensores de nivel y monitoreo meteorológico en tiempo real.
- **Planes de ordenamiento territorial basados en estudios hidrológicos** para reducir la exposición a inundaciones.
- **Fomentar acuerdos entre sectores productivos y autoridades** para implementar prácticas de conservación de suelos y aguas.

CONCLUSIONES:

Las proyecciones climáticas indican un incremento en la precipitación anual en Bahía Blanca, lo que aumenta el riesgo de eventos hidrometeorológicos extremos. En este contexto, es fundamental implementar un enfoque integral de gestión del agua como las analizadas en este trabajo, en el cual se encontró que un área relativamente pequeña dentro de la cuenca (9000 ha) respecto al total con precipitaciones intensas llegó a ocasionas graves consecuencias.

Las inversiones en estudios y obras de prevención resultan significativamente más económicas que afrontar las enormes pérdidas humanas y costos materiales provocadas por una inundación de gran magnitud. La planificación y ejecución de medidas adecuadas fortalecerá la resiliencia de la ciudad frente a condiciones climáticas extremas, maximizando la seguridad de la población, como la estabilidad económica de la región, con un desarrollo más sostenible y esta ecuación costo beneficio es siempre positiva.

Es importante mencionar que ante la falta de registros pluviométricos y caudales sobre las cuencas de la región y principalmente en la cuenca Napostá, estos resultados cualitativos son de mucha importancia para dimensionar los volúmenes de agua que escurrieron hacia la ciudad provocando daños muy significativos. Por razón, las autoridades relacionadas con el manejo del recurso hídrico e infraestructuras junto a la comunidad científica, deberían trabajar activamente en conjunto, a fin de garantizar las soluciones pertinentes ante la ocurrencia de esto eventos a corto y mediano plazo.

BIBLIOGRAFIA

- Ámbito Financiero (AF). 2025. Tragedia en Bahía Blanca: 16 muertes, miles de evacuados, $400.000 millones en pérdidas Disponible en: https://www.ambito.com/opiniones/tragedia-bahia-blanca-16-muertes-miles-evacuados-400000-millones-perdidas-como-pudo-suceder-n6124451?utm_source=chatgpt.com

- Campo, A. M., Gil, V., Gentili, J. O., Volonté, A., & Duval, V. (2011). Inventario de eventos climáticos-meteorológicos extremos. Suroeste Bonaerense (1995-2010). Párrafos geográficos, 10(1), 102-115.

- Garreaud, R., Vergara I. 2025. Análisis CR2: Un análisis hidrometeorológico de la trágica tormenta de Bahía Blanca, Argentina. Documento Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2, Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Disponible en: https://www.cr2.cl/analisis-cr2-un-analisis-hidrometeorologico-de-la-tragica-tormenta-de-bahia-blanca-argentina/#:~:text=El%20viernes%207%20de%20marzo,provincia%20de%20Buenos%20Aires%2C%20Argentina.

- INTA. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

- IPCC, 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

- Quattrocchio, M. 2023. Factibilidad de construir un embalse en Puente Canessa. Disponible en: https://frenteacano.com.ar/ponen-en-duda-la-construccion-del-embalse-en-puente-canessa/

- Lambrecht, Y. B., Picone, N., Zapperi, P. A., & Gil, V. (2024). Evento de bow-echo y sus efectos sobre la ciudad de Bahía Blanca. Disponible en : https://revistas.unne.edu.ar/index.php/fce/article/view/7790/7412

- Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y marino del Gobierno de España (MMAGB). 2011. Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables. 324 pp. España.

- Schefer, J.C. 2012. Se necesita un dique en Puente Canessa. Articulo La Nueva Provincia. Disponible en: https://www.lanueva.com/nota/2012-4-29-9-0-0-se-necesita-un-dique-en-puente-canessa

- Señas, L., Priano. C, Maiza, P., Marfi, S. 2005. Evaluación del deterioro en el hormigón del canal aliviador “Maldonado” (Bahía Blanca, Argentina). Simposio El Hormigón estructural y el Transcurso del Tiempo, La Plata. Disponible en: https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/716a7ca7-ac83-4367-a595-980a54cb9f04/content

- Torres Carbonell C. 2014. Impacto del cambio climático global sobre las precipitaciones del

sudoeste bonaerense semiárido y su efecto sobre el riesgo de sistemas ganaderos con distinto grado de adopción de tecnología. Tesis Doctorado Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Disponible en: https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/449 (}

- Universidad Tecnológica Nacional UTN, FRBB. 2018. Proyecto final Ingeniería Civil. Proceso Apell Bahía Blanca. Plan director estudio de resiliencia urbana frente a los cambios climáticos. Disponible en: https://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/info/secretarias/legal/institucional/informe_estudio_resiliencia_urbana.pdf

- Zapperi P. 2012. Hidrografía urbana de Bahía Blanca. Tesis Doctorado Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur. Disponible en: https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/485?show=full

ANEXO I: Reconstrucción de la dinámica de movimiento del agua que ingreso al arroyo Napostá y Registros fotográficos

En el **sitio 1** en la Ruta 33 a la altura del primer puente de paso a nivel en construcción la escorrentía del agua acumulada en la banquina oeste escurre hacia el Saladillo de García. Mientras en la banquina este el agua se trasladó a través de un canal de desagüe que luego se desmoronó al campo anexo donde se formó una laguna temporal que retiene parcialmente por diferencia de niveles el agua que escurrió hacia la ladera en dirección al arroyo Napostá.

Figura 6. Canal de desagüe hacia laguna temporal ruta 33 km 4 y dirección de la escorrentía

Foto 1. Vista de la laguna temporal 18-3-25 desde arriba del puente

Esta micro depresión anterior a la ladera, donde se formó una laguna temporal natural que a la fecha de peritaje persiste y ocupa una superficie de 30 ha fue importante para contener una gran parte del

agua que de no ser así podría haber escurrido al lecho del Napostá agravando los problemas de inundación.

Foto 2. Canal vial de escurrimiento desmoronado con desagüe sobre esa llanura de inundación previa a la pendiente hacia el arroyo Napostá

En el **Sitio 2** los establecimientos rurales que ocupan esta ladera registraron lluvias semejantes a las ocurridas en la ciudad. Son laderas de pendientes moderadas a suaves pero la excesiva intensidad de agua precipitada en tan poco tiempo, genero aludes hídricos que ingresaron sobre camino de la carrindanga a la llanura de inundación del arroyo en el Sitio 3.

Figura 7. Zona de confluencia e ingreso hídrica a la llanura de inundación del Napostá

La figura 7 expone el sitio donde confluyeron las aguas de escorrentía que provenían de los campos pendientes arriba. Las vías del ferrocarril que en ese sitio manifiestan una forma semicircular contuvieron el agua disminuyendo afortunadamente la velocidad y volumen de pasaje del alud. Cuando el agua acumulada supero el nivel de las vías (2.5 metros) y el agua comenzó a circular por encima de las misma. Las banquinas de la vía y el camino vecinal contiguo operaron como cause hasta la calle que se une con camino de la carrindanga. El camino de la carrindanga ejerció un nuevo obstáculo para endicar y frenar nuevamente la velocidad de bajada del agua. Pero la fuerza de la escorrentía arrasó el mismo arrastrando incluso porciones de asfalto y desembocando en la llanura de inundación del Napostá.

Foto 3. Vista en pendiente del Establecimiento San Carlos el 7-3-25 luego de la tormenta (18.00 hs) de la zona de cruce del escurrimiento de la Figura 7 por camino de la Carrindanga

Foto 4. Principio de la escorrentía en pendientes suaves previo a la llegada a las vías. Establecimiento Los Vientos

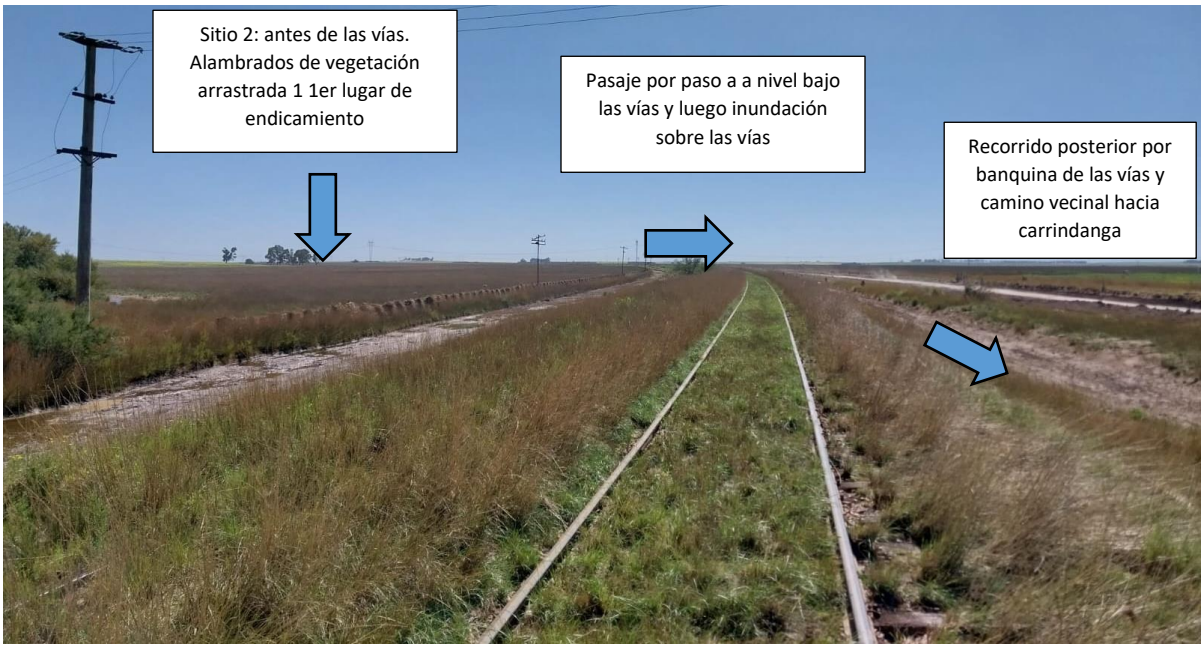


Foto 5. Lugar de cruce por sobre las vías de la lámina de escurrimiento en sito 2.

Foto 6. Camino vecinal con signos de socavación profunda en sentido de la intersección con camino de la Carrindanga.

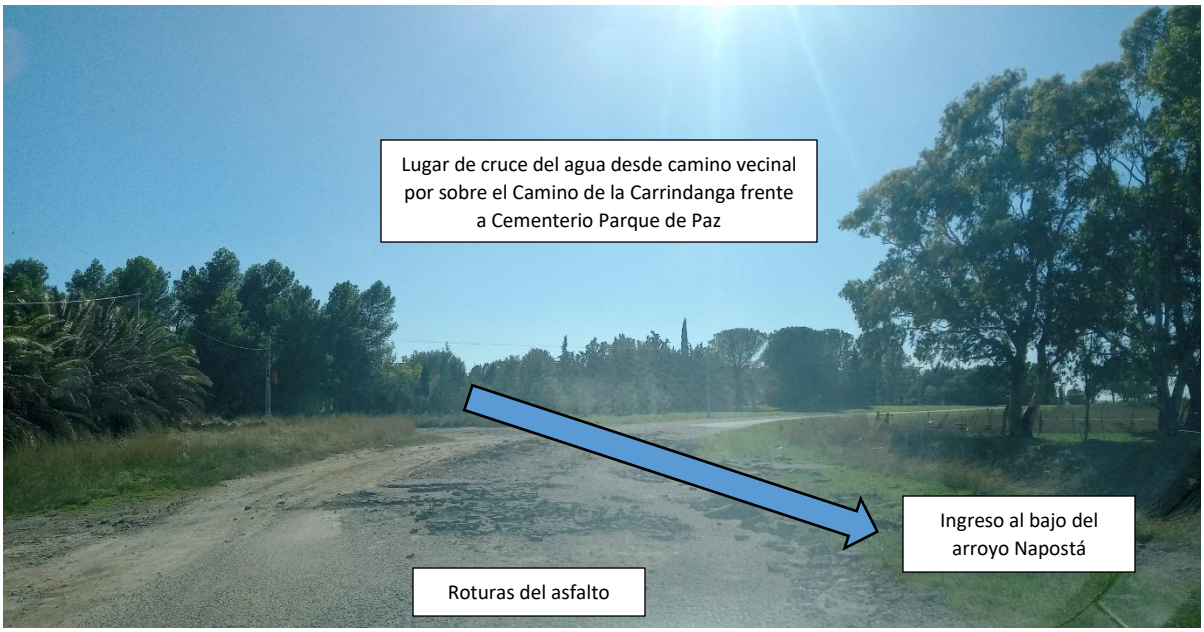


Foto 7. Sector del camino de la Carrindanga donde cruzó el agua de oeste a este hacia el arroyo Napostá y el asfalto fue arrastrado.

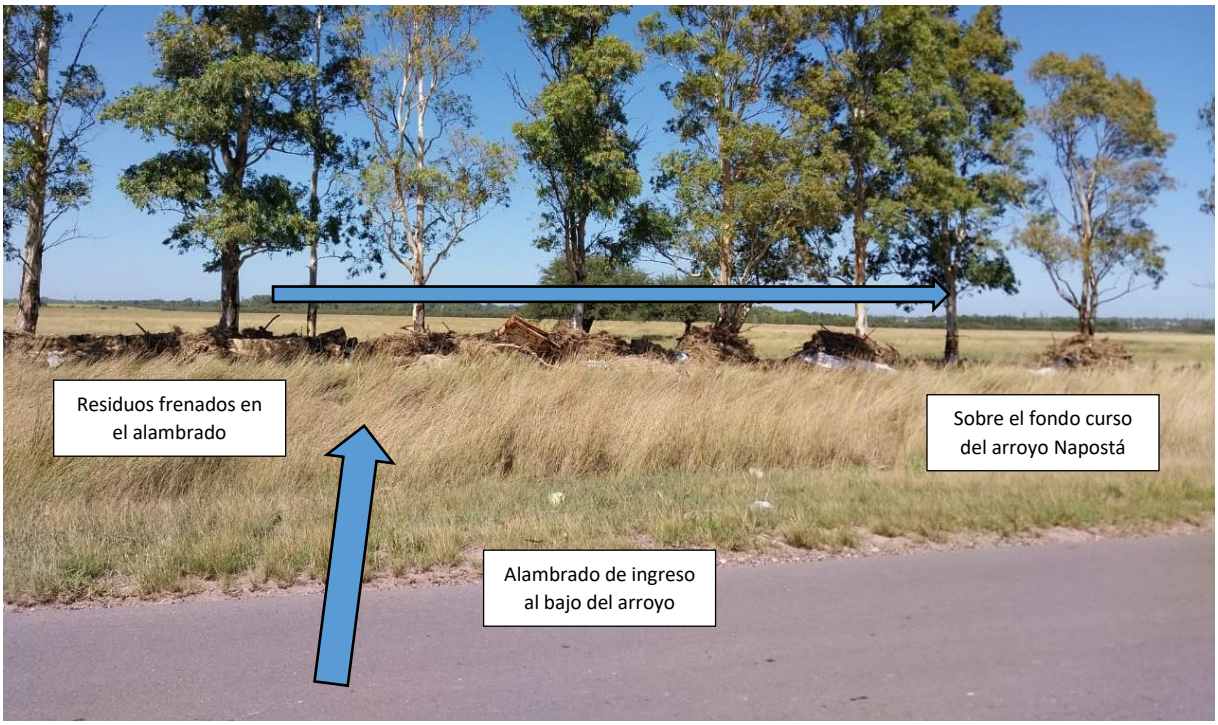
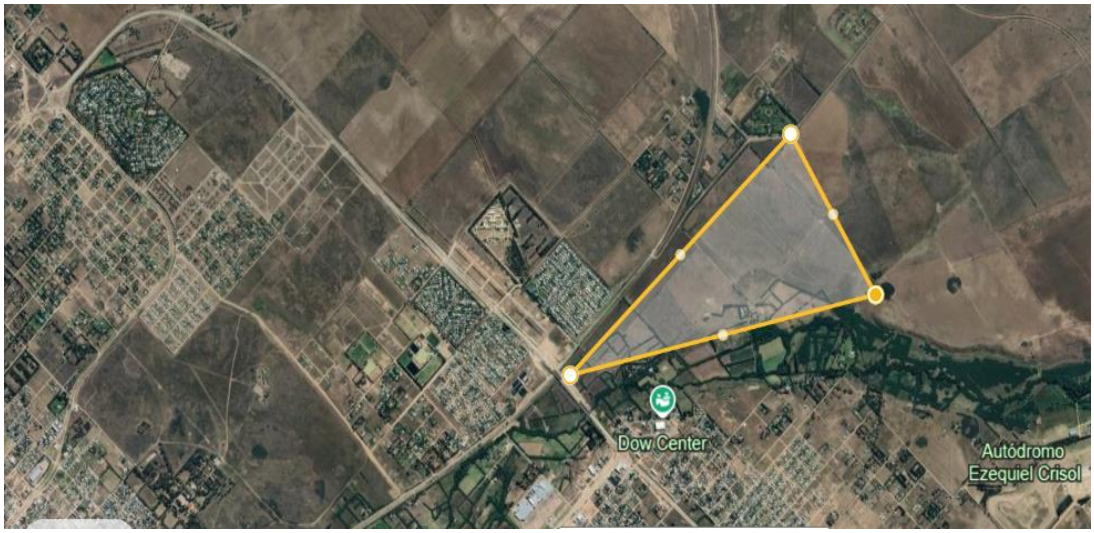


Foto 8. Banquina este del camino de la Carrindanga por donde entro la corriente de agua y donde el alambrado retuvo una enorme cantidad de residuos vegetales y de viviendas.

Finalmente, el agua ingresó en el sitio 3 compuesto por una muy ancha planicie en forma de triangulo con una base de 1500 m x dos lados de 2400 m lo cual representan aproximadamente 150 ha contorneada en su costado este por el curso del arroyo Napostá.

Figura 8. Planicie de inundación del arroyo Napostá previa al ejido urbano de Bahia Blanca



Esta superficie afortunadamente está conformada por una pastura de agropiro naturalizado muy denso que aportó significativamente al frenado e infiltración de agua de escorrentía. No obstante, el enorme caudal de agua luego de unas horas produjo su inundación en 1 metro promedio de altura.

Foto 9. Inundación del sitio 3 valle del arroyo Napostá anterior al ejido urbano de la Ciudad de Bahia Blanca. Foto tomada desde la margen del arroyo Napostá Establecimiento "El Puesto"

Foto 10. Inundación del sitio 3 valle del arroyo Napostá. Foto tomada desde la margen del arroyo Napostá este donde no entro la inundación (zona altura calle Tres Sargento 5500). Establecimiento "El Puesto"

Foto 11. Sitio 3 valle del arroyo Napostá luego de la evacuación del agua (18-3-25). Las pasturas de agropiro y la forestación presente contribuyen significativamente a disminuir la escorrentía.

Este tipo de áreas rurales perirubanas deberían ser valorizadas por la altísima función preventiva que cumplen en su localización para ralentizar el ingreso de agua a la zona de confluencia parque de mayo.

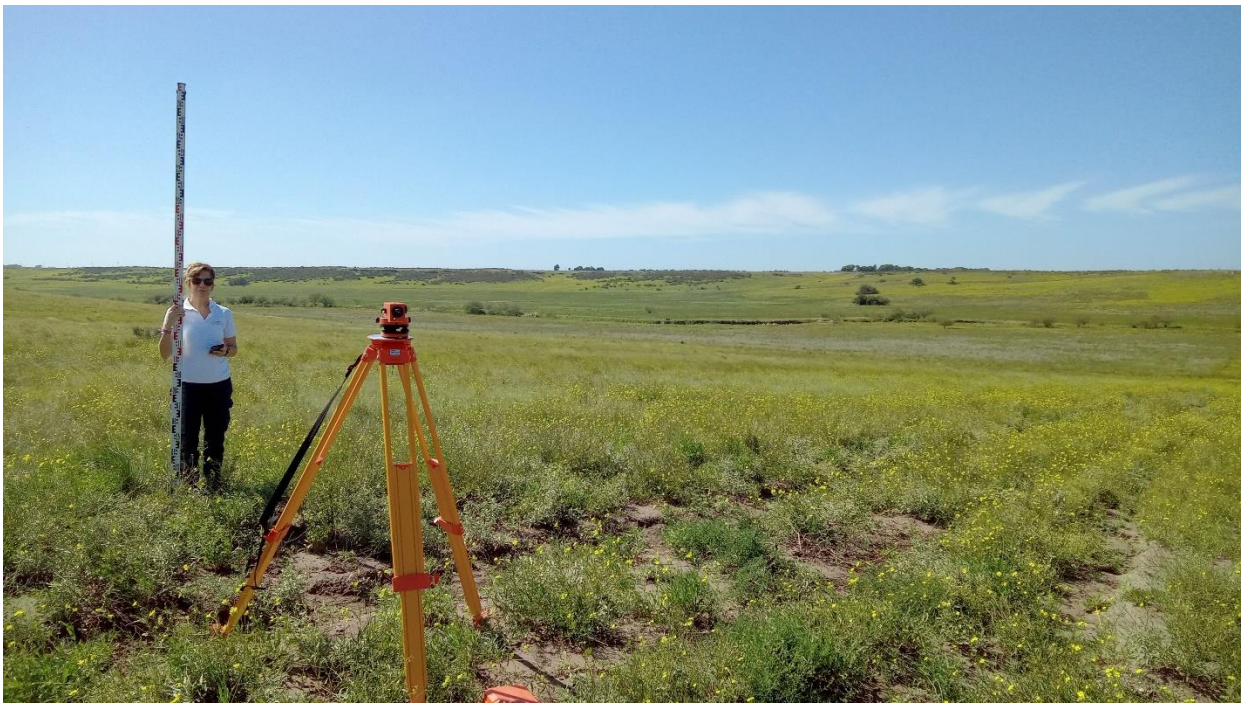


Foto 12, 13 y 14. Mediciones de curvas de iso nivel en pendientes hacia el arroyo Napostá equipo INTA-UNS Agronomía.

Foto 15. Pasturas de pasto llorón en lomas con pendiente, se observa el efecto a mano izquierda donde paso el escurrimiento y a mano derecha donde no. Esta forrajera posee un sistema radicular muy importante para contener el suelo y bajar la velocidad de escurrimiento del agua.

Foto 16. Puente de la autovía sobre camino de la Carrindanga por donde ingreso una gran parte del escurrimiento del sitio 3. Se observan signos de erosión en el terraplén de apoyo este.

Foto 17. Vista aérea de la inundación desde sitio 3 debajo del puente de camino de la Carrindanga

Foto 18. Terraplén del ferrocarril llegando a la confluencia del Maldonado/Napostá.

En la foto 18 se observa un socavamiento del terraplén de la mano del barrio Arquitectos, mientras del lado del Club de Golf Palihue el terraplén se encuentra intacto. Lo cual permitió inferir que la corriente de escurrimiento del sitio 3 luego de avanzar bordeando el puente sobre el camino de carrindanga (Foto 16), descendió por este camino y sus banquinas con muy bajo pasaje hacia la llanura de las canchas de futbol del Club Liniers y el Golf debido a que el terraplén del ferrocarril diqueó parcialmente este sentido de cruce. Este comportamiento del avance del agua fue contrario a lo esperado: una mayor ocupación que la del valle de inundación zonificación UP5 (UTN. 2018) Por lo tanto, una gran parte de este corriente ingreso a la confluencia entre el barrio Arquitectos socavando el terraplén del ferrocarril de la mano contraria a la esperada (Foto 17).

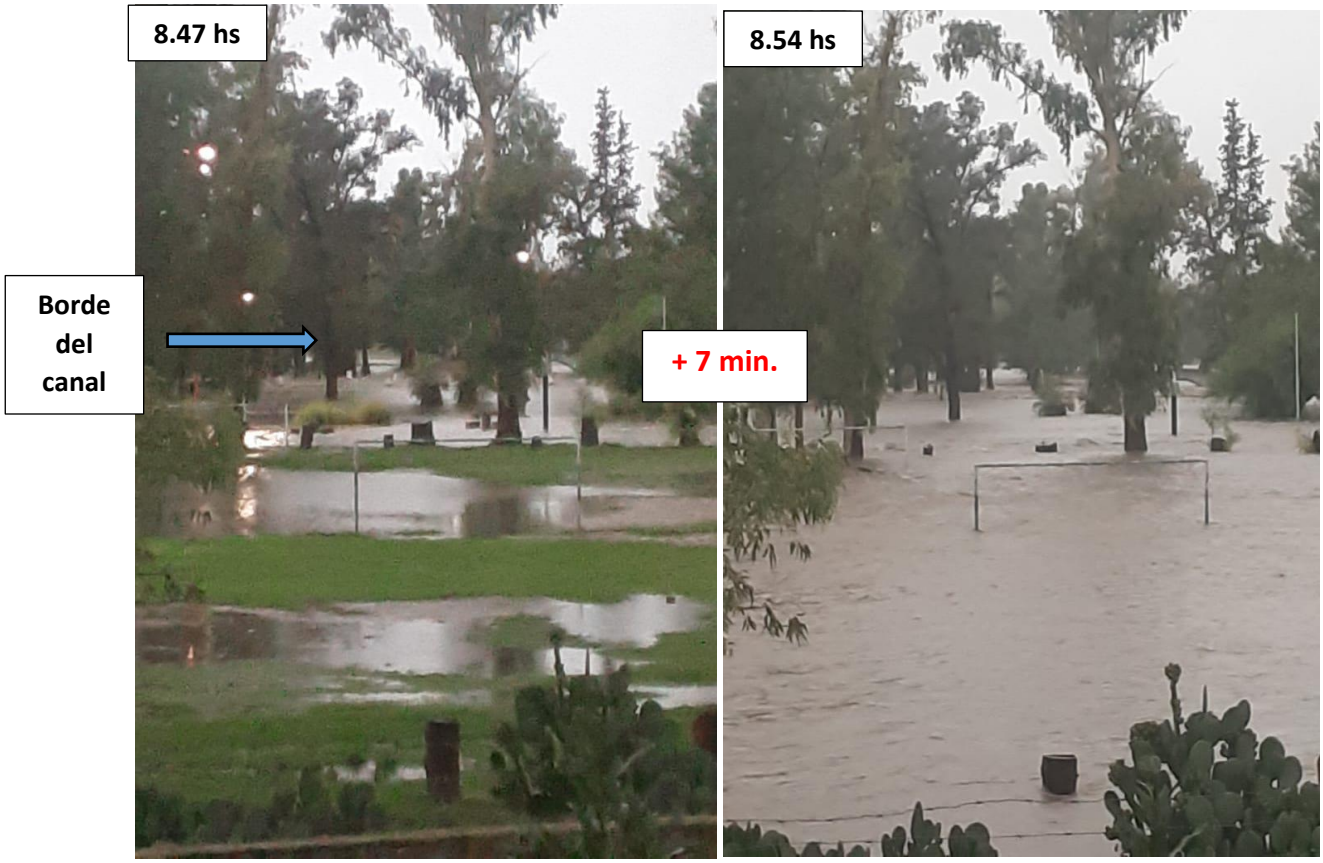


Foto 19 y 20. Momento instantáneo de acumulación del caudal de punta en la zona de confluencia del Maldonado/Napostá. Gentileza D. Vdovichenko 7-5-2025

Finalmente, en la Foto 19 se observa el instante anterior a la llegada del caudal de punta donde el canal Maldonado aún no había rebalsado y solo se observan charcos en la cancha de futbol producto de la lluvia en el lugar. En la Foto 20, 7 minutos después la crecida de punta ya había inundado las márgenes alcanzando en el arco de futbol contigua 70 cm de altura.

Estas imágenes ilustran la velocidad de llegada de escorrentía en su momento instantáneo de punta que es el flujo máximo durante el período de mayor intensidad de lluvia.

Se visualiza la importancia de incorporar estrategias de disminución de la escorrentía en toda la cuenca como incrementar la capacidad del sistema de evacuación Maldonado/Napostá para mitigar lo más posible futuros eventos extremos de esta naturaleza.

ANEXO II

Cálculo del Caudal Medio y Caudal de Punta en 9.000 ha de la Cuenca del Napostá durante la tormenta del 7-3-25

Este Anexo II presenta los cálculos del caudal medio y del caudal de punta en una cuenca de escurrimiento de 9,000 hectáreas (90 km²), con una precipitación acumulada de 395 mm en 24 horas y un coeficiente de escorrentía del 75%. Se analiza el comportamiento hidrológico de la cuenca y se estima el flujo máximo esperado en su punto de salida.

1. Cálculo del Caudal Medio

El caudal medio se obtiene a partir del volumen total de escorrentía dividido por el tiempo de evacuación del agua:

- Superficie de la cuenca: 90 km²
- Precipitación total: 395 mm (0.395 m)
- Volumen total de agua caída: 32.310.000 m^3
- Volumen de escorrentía (75% de la lluvia): 24.232.500 m^3
- Tiempo de evacuación: 48 horas (172.800 segundos)
- **Caudal medio: 140 m3/seg**

2. Cálculo del Caudal de Punta

- Intensidad máxima de lluvia: 290 mm en 6 horas → 44,9 mm/h
- Tiempo de concentración: 6 horas
- **Caudal de punta: 906 m^3/s**

Conclusiones

- El caudal medio estimado en la cuenca es de 140 m^3/s, considerando que el agua se evacua en un período de 48 horas.
- El caudal de punta estimado es de 906 m^3/s, representando el flujo máximo durante el período de mayor intensidad de lluvia.
- Estos valores son resultados preliminares que pueden ser utilizados para evaluar la capacidad del sistema de drenaje y diseñar estrategias de mitigación del riesgo de inundaciones.
- Se recomienda complementar estos cálculos con modelos hidrodinámicos que consideren el efecto del almacenamiento superficial, las pendientes y la variabilidad en la distribución espacial de la lluvia.