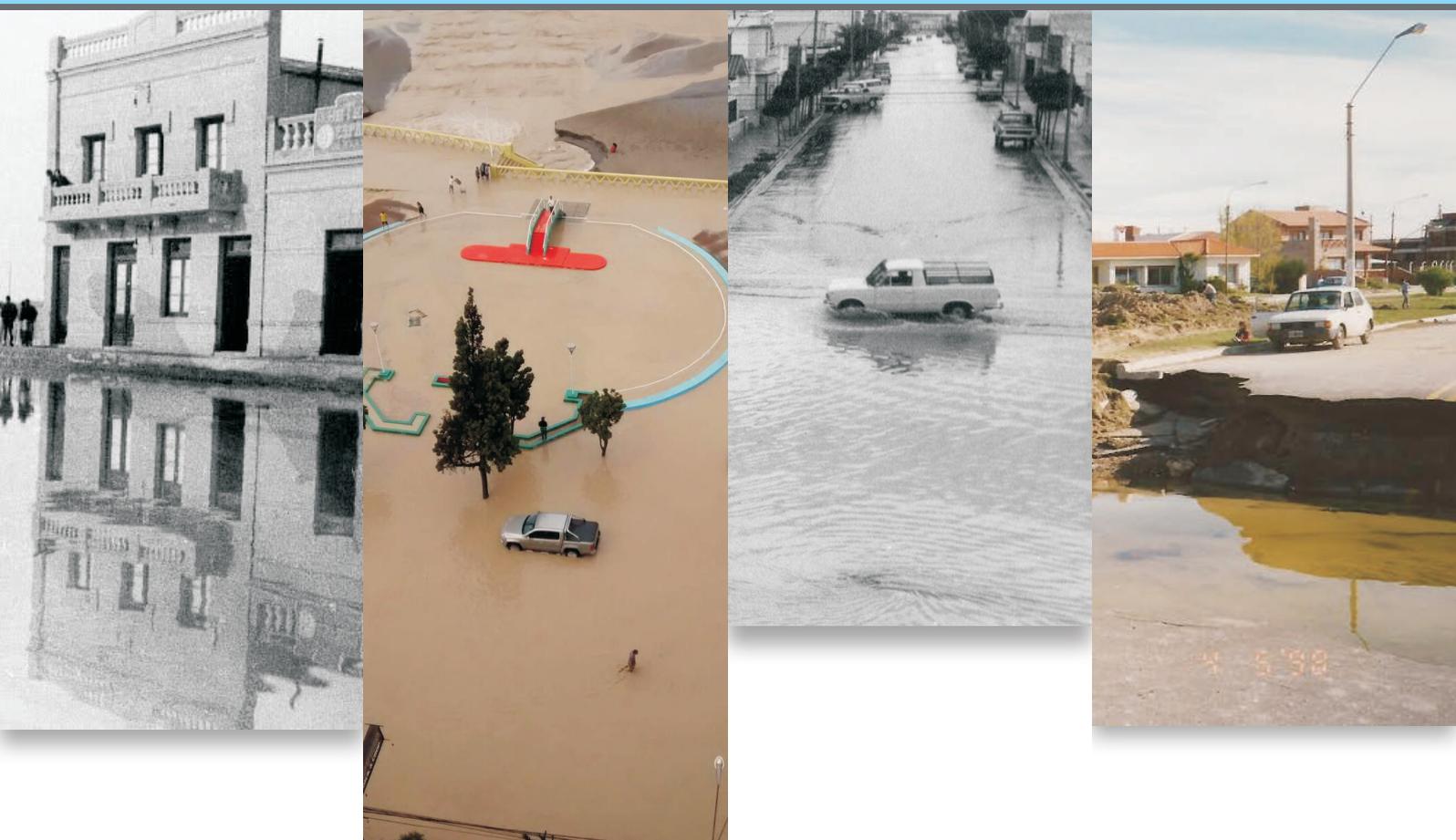


INUNDACIONES EN PUERTO MADRYN



Relevamiento y diagnóstico del evento del 21 de Enero de 2016

CÓMO CITAR EL INFORME:

Bilmes, A.; Pessacg, N.; Alvarez, M.P.; Brandizi, L.; Cuitiño, J.I.; Kaminker, S.; Bouza, P.J.; Rostagno, C.M.; Núñez de la Rosa, D.; Canizzaro, A., 2016. Inundaciones en Puerto Madryn: Relevamiento y diagnóstico del evento del 21 de Enero de 2016. Informe Técnico CCT-CONICET-CENPAT.

INTEGRANTES

Responsables Técnicos:

Bilmes, Andrés.
Geomorfólogo, IPGP CCT-CENPAT; abilmes@cenpat-conicet.gob.ar

Pessacg, Natalia.
Meteoróloga, IPEEC CCT-CENPAT; pessacg@cenpat-conicet.gob.ar

Alvarez, María del Pilar.
Hidrogeóloga, IPEEC CCT-CENPAT; alvarez@cenpat-conicet.gob.ar

Brandizi, Laura.
Hidróloga, CENPAT-UTN-UNPSJB; lbrandizi@cenpat-conicet.gob.ar

Cuitiño, José Ignacio.
Sedimentólogo, IPGP CCT-CENPAT; jcuitino@cenpat-conicet.gob.ar

Kaminker, Sergio.
Sociólogo, IPCSH CCT-CENPAT-UNPSJB; kaminker@cenpat-conicet.gob.ar

Bouza, Pablo José.
Pedólogo, IPEEC CCT-CENPAT; bouza@cenpat-conicet.gob.ar

Rostagno, César Mario.
Edafólogo, IPEEC CCT-CENPAT; rostagno@cenpat-conicet.gob.ar

Núñez de la Rosa, Diego.
Comunicador Social CCT-CENPAT; diego@cenpat-conicet.gob.ar

Cannizzaro, Alejandro.
Comunicador Social CCT-CENPAT; cannizzaro@cenpat-conicet.gob.ar

Participantes institucionales:

CCT CONICET-CENPAT: González José, Rolando; Lizurume, María Elena; Berón, Juan Carlos
Municipalidad de Puerto Madryn: Calvo, Enrique; Ueberfeld, Johnatan; Sanchez, Verónica;
Chiara, Juan.

Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano: Garmendia, Gerardo.

SERVICOOP: Timinieri, Pablo; Zurita, Gabriel.

Colaboradores:

AGUSTINA GOMEZ LAICH
ALBERTO LOYDA NASIF
ALEJANDRA CONCINA
ALEJANDRA LOPEZ
ANAHÍ RUDERMAN
ANDREA GONZALEZ MARIN
CAROLINA LAZTRA
CINTIA MEDINA
CLAUDIA LOVISO
CLAUDIA LOYDA NASIF
DIEGO BARQUÍN
DIEGO GOZALEZ-ZEBALLOS
EDGARDO QUINTERIO

FELIPE BUSKER
FIORELA GALEANO
GABRIELA BLANCO
GERMÁN CHELI
GRACIELA ROSA AMICO
GUSTAVO ALVAREZ
HEBE SARAVI CISNERO
ILEANA RIOS
INÉS ARAMENDÍA
JUAN AMERICO MORALES
JUAN FRANCISCO CONTRERAS
JULIO CESAR RUA
LUIS BERHAU

MARÍA GRAHAM
MARIANA VIGLINO
MARIELA MARIANI
MARTIN MILANESE
MONICA BUONO
OMAR VALENZUELA
SILVIA NOGERA
SOL DE AZEVEDO
SOLEDAD LEONARDI
TAMARA RUBILAR
TEREZA DOZO
VIRGINIA RAMALLO

Inundaciones en Puerto Madryn: relevamiento y diagnóstico del evento del 21 de Enero de 2016



A partir de las inundaciones ocurridas en la ciudad de Puerto Madryn el 21 de enero de 2016, desde el Centro Científico Tecnológico Centro Nacional Patagónico (CCT CONICET-CENPAT) se decidió realizar un relevamiento de las áreas inundadas y un diagnóstico hidrometeorológico del evento. Esta iniciativa surge voluntariamente desde un grupo de trabajadores del CENPAT quienes frente a este problema deciden poner su experiencia científico/técnica al servicio de la comunidad.

Por tratarse de un tema que afecta a la sociedad en general se buscó incluir en el desarrollo de este trabajo la mayor cantidad de actores posibles. Se convocó a la Municipalidad de Puerto Madryn, al Instituto Provincial de la Vivienda (IPV), a la Cooperativa Limitada de Provisión de Servicios Públicos y Vivienda de Puerto Madryn (SERVICOOP) y a las Juntas Vecinales de varios barrios afectados, quienes no solo aportaron información sobre el evento, sino también participaron activamente de las tareas. Desde el CENPAT

se trabajó de manera transdisciplinaria (Geología, Hidrogeología, Meteorología, Edafología, Sociología, Ingeniería, Ecología y Comunicación), incluyendo la participación de más de 30 personas entre Investigadores, Becarios, Personal de Apoyo y Administrativos.

El objetivo general del trabajo es entender por qué nos inundamos en la ciudad de Puerto Madryn durante la tormenta del 21 de enero de 2016. Se realizó un relevamiento de la magnitud y distribución de la inundación, una evaluación meteorológica de la tormenta y un análisis socioambiental de la ciudad.

Sobre la base de este informe se espera no sólo comprender lo ocurrido en este evento puntual, sino también identificar algunos elementos (e.g. topografía, clima) que inciden en la inundación de la ciudad. Entender cómo funcionan permitirá establecer lineamientos de planificación urbana y ordenamiento territorial que ayuden a evitar o mitigar futuros eventos.

1 - CARACTERIZACIÓN SOCIOAMBIENTAL DE LA CIUDAD

Puerto Madryn es la cabecera del departamento de Biedma y la tercera ciudad más poblada de la Provincia del Chubut (Fig. 1). Según se indicó en el último censo de población realizado en 2010,

habitan la ciudad, 81.315 personas. Hasta mediados del siglo XX fue un pueblo ferroviario conectado por las vías con el Valle Inferior del Río Chubut, que vivía de su rol de puerto de entrada y salida de mercaderías. Hasta 1970, su población nunca sobrepasó los 7 mil habitantes.

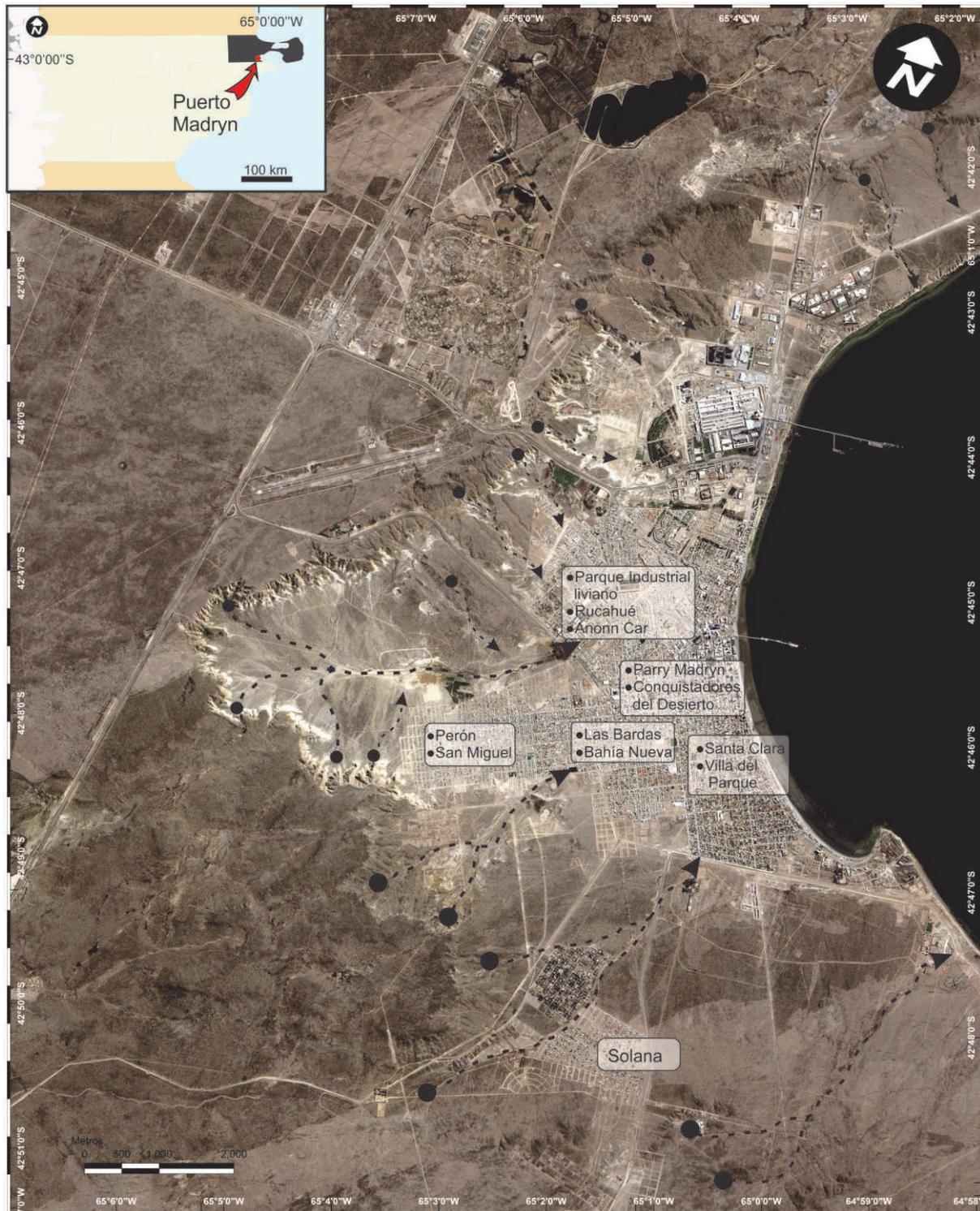


Figura 1: Imagen satelital reciente de Puerto Madryn (Imagen SPOT cedida por CONAE; Octubre del 2015) con localización de los principales barrios afectados por la inundación del 21 de Enero de 2016. Con líneas negras punteadas se demarca la localización de los principales cursos de agua efímeros que atraviesan la ciudad.

En esa década, se instaló la planta de aluminio de ALUAR S.A.I.C., cuya construcción inició una nueva etapa de expansión urbana y demográfica. En los últimos 40 años, Puerto Madryn sufrió una explosión demográfica multiplicando por 13 su población, de 6.100 habitantes a principios de la década del setenta a poco más de 80.000 en el 2010. La migración interna de otras provincias fue la gran protagonista de esta explosión demográfica. El proceso económico y la demanda laboral de la ciudad impusieron históricamente el ritmo de su expansión poblacional. Lógicamente, un cambio de esta magnitud ha tenido efectos en la trama urbana de la ciudad, la cual sufrió un proceso de transformación continuo y problemático.

La primera planificación de Puerto Madryn fue realizada a demanda de la empresa ferroviaria a principios del siglo XX por el ingeniero Allan Lea. Allí se realizaba un trazado moderno, que incluía un conocimiento y aprovechamiento técnico del terreno. Por ello, la ciudad más antigua se encuentra en varios de los puntos elevados en el norte del pueblo. La naturaleza se constituía en una doble condición. Por un lado, se utilizaban los cauces naturales de agua, como los cañadones, para no tener inconvenientes con los avances del mar o la lluvia y se precisaron importantes obras para traer agua y hacer de Puerto Madryn un espacio habitable. Por el otro, la costa generó un magnetismo que desde mediados del siglo XX impone una jerarquización del espacio urbano.

A partir de 1970, las formas de construcción de la ciudad negociadas entre el Estado y el sector privado tuvieron una autonomía relativa importante. La



planificación regional y los cambios de normativa urbana son una muestra clara de cómo se dio el crecimiento de Puerto Madryn. Se priorizaron formas de construcción con modalidades pensadas para otros escenarios urbanos y se construyó sobre algunos lugares no aptos o complejos como lagunas secas o cañadones, con las respectivas complicaciones a la hora de mantener viviendas, o complejos habitacionales enteros. Desde 1991, la complejidad creciente del mercado de la tierra y la vivienda, significó prácticas de acceso donde se privilegiaron determinados espacios para los sectores altos y medios altos, lo que implicó la urbanización de una importante porción del sur y barrios por

fuera de la trama urbana, relegando a los más vulnerables al oeste y noroeste de la ciudad (Kaminer 2016).

En estos últimos treinta años existieron una serie de intervenciones de importancia para evitar

inundaciones como la denominada “zanja de guardia” en el sudoeste, incluidas obras parciales en los barrios más nuevos o vulnerables, sin haberse ejecutado un ordenamiento planificado que contemple el riesgo hídrico en la ciudad y se base en una planificación urbana integral que contenga los lineamientos de su expansión.

2-CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO DE LA CIUDAD

Puerto Madryn se ubica sobre un piedemonte costero, entre la costa occidental del Golfo Nuevo y una escarpa de erosión (barda) que se inicia al este de la Ruta Nacional N°3 (Fig. 1). El clima de la región es árido y como consecuencia de

ello, no existen cursos de agua superficiales permanentes, la vegetación es escasa y los suelos son poco desarrollados y fácilmente erosionables (Beeskow et al. 1987; Rostagno et al. 1999). Es una ciudad costera que se asienta sobre terrenos con numerosas irregularidades topográficas representadas por zonas altas, bardas y pedimentos (superficies de erosión hídrica suave y moderadamente inclinadas), y zonas bajas caracterizadas por cañadones y pequeñas depresiones (Súnico 1996; Haller et al. 2005).

Desde el punto de vista hidrológico, la ciudad está atravesada por varios cursos efímeros (que solo llevan agua durante la tormenta) que desembocan en el mar. Su expresión geomorfológica es un sistema de pequeñas y medianas cárcavas que se integran aguas abajo en grandes cañadones. Cercanas a la actual costa de la ciudad existen acumulaciones de cantos rodados que representan antiguas líneas de playa (cordones litorales), producidos hace 4.000-6.500 años atrás (Codignoto et al., 1992; Monti, 1997), cuando el nivel del mar estuvo más alto que en la actualidad.

El ejido urbano de la ciudad se ha desarrollado sobre las mencionadas irregularidades topográficas, que están controladas por la historia geológica de la región. Algunos de estos rasgos geomorfológicos están actualmente enmascarados por la urbanización y sólo son visibles mediante el análisis de imágenes históricas o estudios específicos. Adicionalmente, es importante señalar que algunos rasgos topográficos actuales son el resultado de modificaciones antrópicas pasadas, como por ejemplo el caso de “La Laguna” de la calle San Martín, la cual se formó por la inundación de una antigua

cantera de áridos que fue explotada en la década del 70.

3-METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

La metodología utilizada comprendió dos grandes líneas de trabajo. La primera relacionada con la evaluación meteorológica de la tormenta y la segunda relacionada con la caracterización espacial del impacto que dicha tormenta tuvo en la ciudad. A partir del desarrollo de



ambas líneas de trabajo se avanza posteriormente con un diagnóstico general transversal.

A-Tareas comunes a ambas líneas de trabajo:

Recopilación de antecedentes y datos climáticos, aerofotográficos, topográficos e históricos de inundaciones en la ciudad de Puerto Madryn.

B- Caracterización de los eventos extremos de precipitación (desde 1979 hasta el 2016):

1. Análisis de las series históricas de precipitación del Servicio Meteorológico Nacional y del CENPAT.
2. Recopilación de mediciones de precipitación en la ciudad para el 21 de enero de 2016.
3. Definición de “evento extremo de precipitación” en la ciudad de Puerto Madryn a partir de registros históricos de precipitación.
4. Análisis de recurrencia.
5. Caracterización del evento del 21 de enero de 2016. Elaboración de un mapa de la precipitación en la región y análisis de datos horarios. Se utilizaron datos del Servicio Meteorológico Nacional, INTA,

ALUAR y CENPAT.

C- Caracterización espacial del impacto de la tormenta en la ciudad

1. Diseño de una encuesta sobre la base de aquella utilizada en otros sectores del país, atendiendo a las particularidades de la ciudad y de la tormenta (Anexo 1).
2. Discusión para consensuar las características de la encuesta con vecinos de la ciudad y con los distintos organismos involucrados (Anexo 1).
3. Reuniones con la Municipalidad, Servicoop, IPV y juntas vecinales a fin de identificar los sectores de la ciudad más afectados por la tormenta, y de establecer los sectores prioritarios a relevar.
4. Encuesta puerta a puerta en áreas seleccionadas de los barrios más afectados. Se relevaron datos de altura del agua sobre el cordón de la vereda, altura del agua dentro de la vivienda (tomando como punto de referencia el cordón de la vereda o con consideraciones específicas en los casos en los que no hubiera cordón), presencia de basura u olores y otros datos relacionados al evento del 21 de enero y eventos anteriores (180 puntos relevados en toda la ciudad).
5. Para el caso del parque industrial liviano, el relevamiento se realizó en coordinación con la Cámara de Industria (4 puntos relevados).

6. En el caso del sector del centro comercial, el relevamiento se hizo en coordinación con la Cámara de Comercio (15 puntos relevados).

7. En el caso del barrio Solana se realizó una encuesta en coordinación con la junta vecinal vía redes sociales (20 puntos relevados).

8. Digitalización en base a un Sistema de Información Geográfico (SIG) de los puntos relevados.

9. Generación de mapas temáticos.

10. Interpretación de los mapas temáticos en función de la geomorfología, hidrología superficial y topografía de la zona.

El análisis general de ambas líneas de trabajo permitió realizar una interpretación integral de los factores que potencialmente determinan las zonas más vulnerables de la ciudad. Como parte de este informe final se realizó un diagnóstico general del evento y un listado de recomendaciones para evitar o mitigar las consecuencias negativas de los futuros eventos de tormenta.

4- EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN PUERTO MADRYN (1979-2015)

El clima de la ciudad de Puerto Madryn,

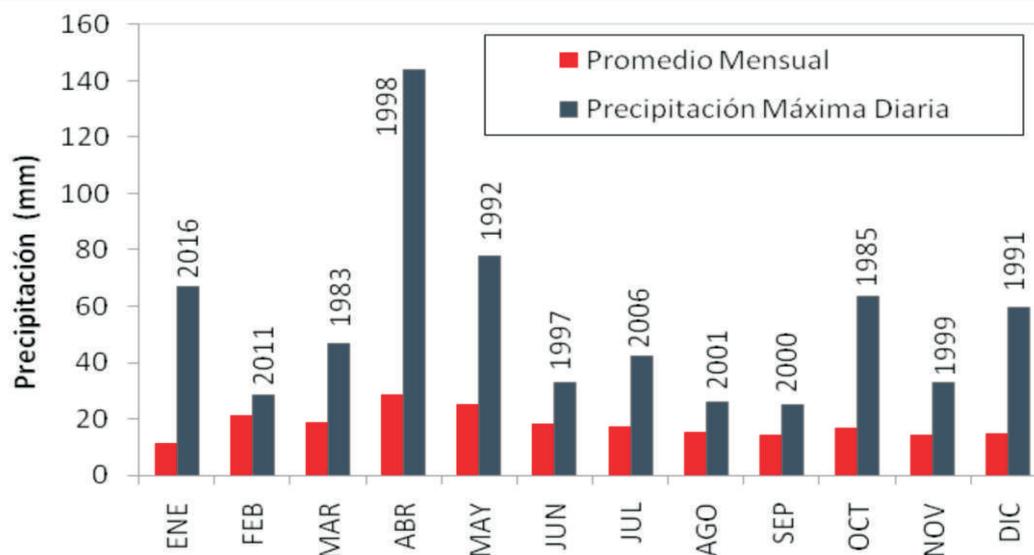


Figura 2: Precipitación media mensual (barras rojas), precipitación diaria máxima registrada (barras azules) en todo el período de análisis. Datos de la estación meteorológica CENPAT-CONICET, período 1979-2015.

como el de toda la región noreste de la Patagonia, está caracterizado por escasas lluvias, fuertes vientos y una temperatura media anual de 13,5° C. La precipitación en la región está fuertemente influenciada por las masas de aire del Pacífico. Sin embargo, en esta región de Patagonia las masas de aire del Atlántico también influyen, especialmente durante los eventos extremos. En este trabajo se utiliza el concepto de “evento extremo de precipitación” como la precipitación diaria que ocasiona daños en la ciudad.

La precipitación media anual en la ciudad es de 215 mm/año y la media mensual de 18 mm/mes (promedios para el período 1979-2015). Sin embargo, los acumulados mensuales son “evento-dependientes”, registrándose eventos extremos diarios que representan el 50% o más de la precipitación media anual (Fig. 2).

El evento de precipitación más intenso registrado en la ciudad es el acontecido en abril de 1998 donde, durante 4 días consecutivos (del 21 al 24 de abril), llovieron 16,2 mm, 2,9 mm, 143,9 mm, y 67,4 mm, respectivamente, totalizando 255,4mm.

El 35 % de los años la precipitación máxima diaria que se registró a lo largo del año se ubica en el rango 20-30mm, y el 24% de los años en el rango 30-40 mm. Es decir, que en el 60 % de los años del registro la precipitación más intensa que se registra en el año es menor a 40 mm/día. Sin embargo, en el 20% de los años hay un evento diario que supera los 50 mm de precipitación (Fig. 3).

Incluyendo los primeros 6 meses del año 2016, se detectaron 8 eventos de precipitación diaria mayores a 50 mm/día (13/10/1985, 11/12/1991, 11/05/1992, 23/04/1998, 23/04/2013, 07/04/2014, 21/01/2016). El relevamiento de noticias periodísticas permitió detectar que todos estos eventos produjeron inundación de viviendas y calles anegadas en Puerto Madryn. Es decir, que para esta ciudad se puede definir un “evento extremo de precipitación” cuando se registran más de 50 mm diarios.

El período de retorno o recurrencia (tiempo esperado o tiempo medio entre dos eventos de baja probabilidad, calculado con una función teórica de distribución), de un evento extremo de precipitación diaria (mayor a 50 mm/día) es de 3,8 años (Fig. 4).

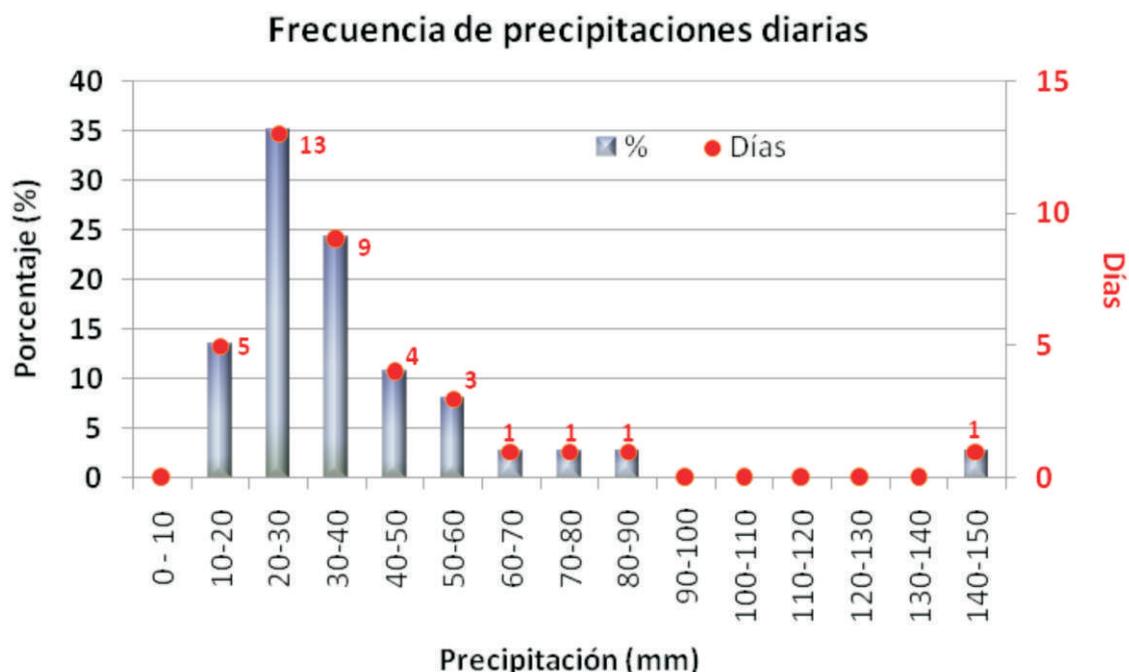


Figura 3: Frecuencia (por intervalos) de eventos de precipitación máxima diaria para cada año del registro. Período de análisis 1979-2015.

Eventos como el ocurrido en el año 1998 presentan en cambio una recurrencia esperada mayor a los 1000 años (Fig. 4). A medida que aumenta el período de recurrencia, las precipitaciones tienden a un valor constante.

5-CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DEL EVENTO OCURRIDO EL 21 DE ENERO

El 21 de Enero de 2016 en horas del medio día comenzó a desarrollarse un fuerte sistema convectivo en el noreste de Patagonia y oeste de La Pampa que se fue desplazando hacia el noreste en el transcurso del día (Fig. 5a). Este sistema produjo precipitaciones intensas solo en algunos lugares puntuales como la ciudad de Puerto Madryn. La Tabla 1 muestra la precipitación registrada por distintas estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes lugares de la ciudad y en localidades cercanas. Dentro de la ciudad los registros evidencian que la magnitud del evento estuvo en el rango 57-67 mm/día. Las variaciones en los registros dentro de la ciudad pueden deberse a errores en las mediciones o a variaciones espaciales de la precipitación. Las localidades cercanas registraron valores

considerablemente menores, mostrando que el epicentro del evento convectivo estuvo localizado en Puerto Madryn (Fig. 5b y Tabla 1). Eventos de esta magnitud tienen un período de recurrencia de 9 años (Fig. 4).

El evento de precipitación estuvo concentrado en dos franjas horarias, en la primera media hora (16:20-16:50hs) llovieron 24 mm, mientras que luego en una hora (17:30-18:30hs) llovieron 33 mm (Fig. 6).

El Servicio Meteorológico Nacional emitió un alerta 6 horas previas a que comenzara la lluvia en la ciudad para una región amplia que incluye el sur de la provincia de Buenos Aires, noreste de Chubut y centro y este de Río Negro. Los servicios de pronóstico numérico fallaron en general en pronosticar adecuadamente la magnitud del evento debido a que el mismo fue muy local. En el CENPAT se realiza un pronóstico numérico para Patagonia (www.cenpat-conicet.gov.ar/pronostico). El modelo utilizado para el pronóstico logró simular el evento en la región, pero falló en pronosticar la magnitud del mismo. A partir de este fenómeno se realizaron diferentes experimentos con el modelo y se obtuvo que con una mayor resolución

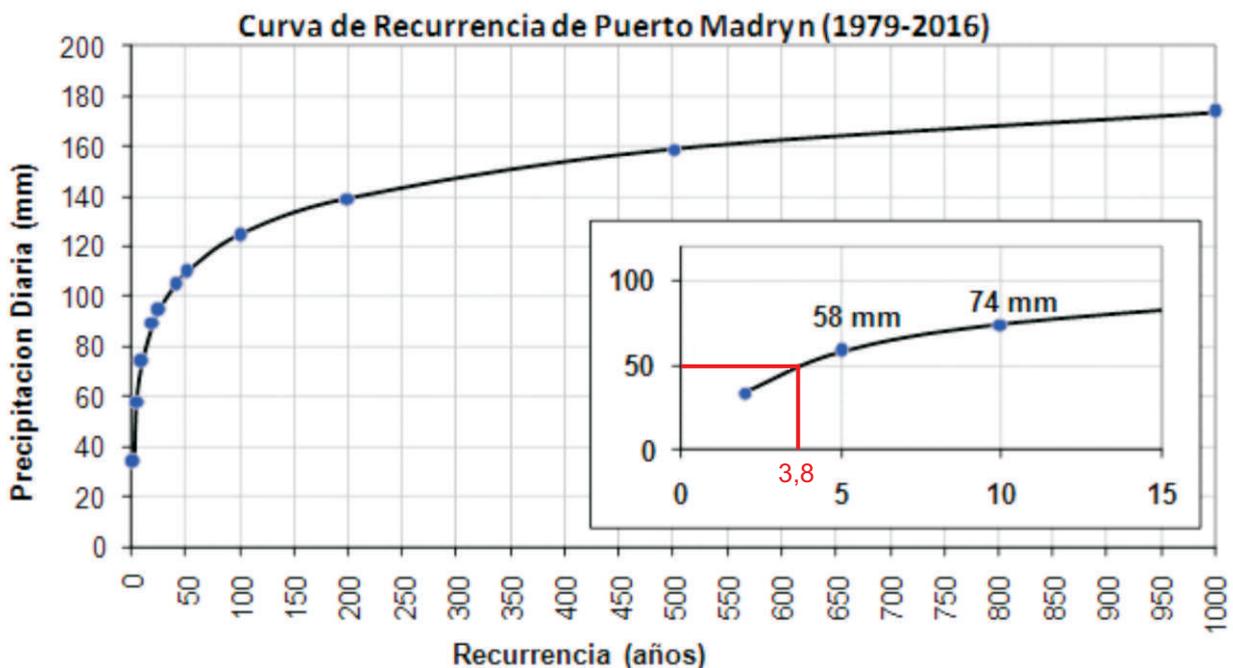


Figura 4: Curva teórica que relaciona la intensidad, duración y recurrencia de los eventos máximos de precipitación diaria. La curva se realizó con una distribución teórica ajustada a los datos de precipitación de la estación meteorológica del CENPAT-CONICET.

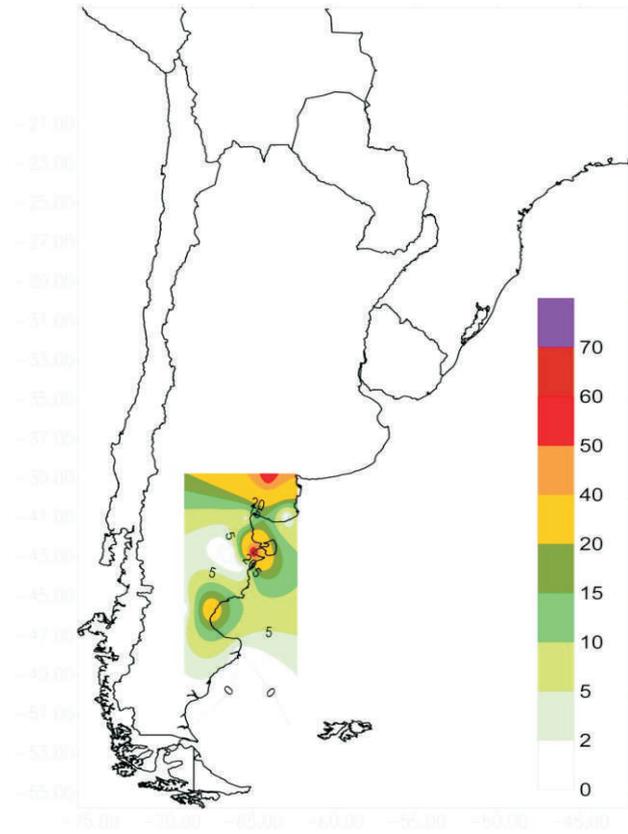
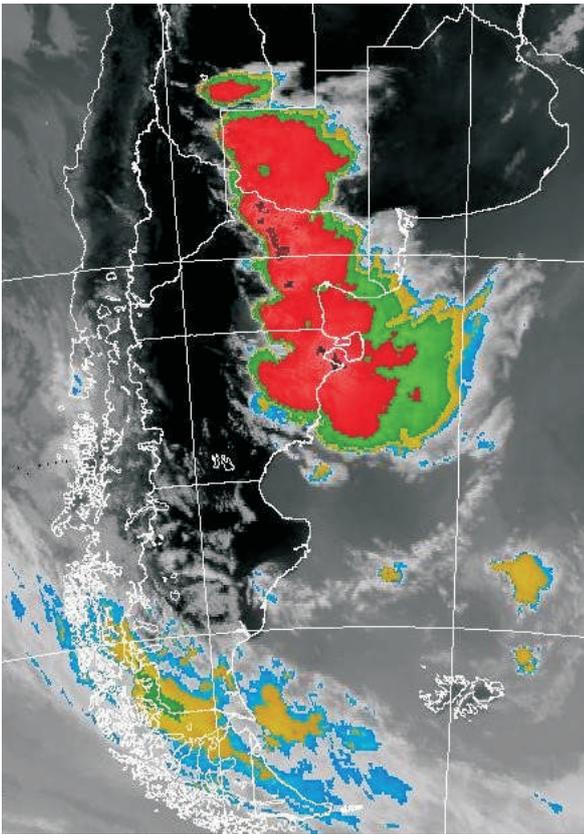


Figura 5: a) Estructura espacial del sistema convectivo, imagen GOES-12, Servicio Meteorológico Nacional, 21/01/2016 18:15hs. b) Precipitación acumulada el 21/01/2016 considerando datos de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional e INTA.

espacial se podría mejorar significativamente el pronóstico de este tipo de eventos en la región.

6-CUANTIFICACIÓN ESPACIAL E INTERPRETACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA DE LAS ÁREAS ANEGADAS

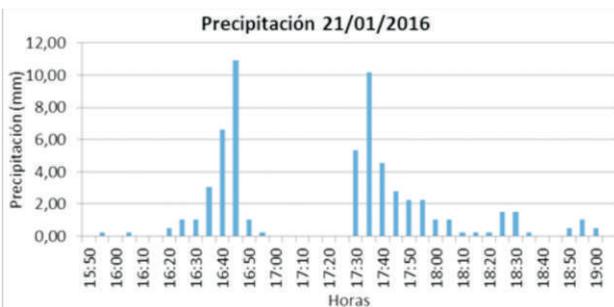
Sobre la base de los antecedentes recopilados en la Municipalidad, Servicoop y Juntas Vecinales, se reconocieron seis áreas principales afectadas por la tormenta (Fig. 7) en donde se focalizó el relevamiento (ver sección Metodología). Las áreas

incluyen los barrios:

- A) Perón-San Miguel
- B) Las Bardas-Bahía Nueva
- C) Santa Clara-Villa del Parque
- D) Parque Industrial Liviano-Rucahue-Anonn Car
- E) Parry Madryn-Conquistadores del Desierto.
- F) Solana.

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada uno de los sectores y la interpretación de las causas asociadas.

A: Perón-San Miguel



Lugar	Precipitación (mm/día)
Puerto Madryn SMN (Aeropuerto)	67 mm
Puerto Madryn Puerto Storni	66 mm
Puerto Madryn CENPAT -CONICET	57 mm
Puerto Madryn Aluar Aluminio	60 mm
Puerto Pirámides (INTA)	27 mm
Trelew (INTA)	4.8 mm
Gaiman (INTA)	3.3 mm
DiQue Ameghino (INTA)	0.4 mm

Figura 6: Intensidad de la precipitación el 21/01/2016. Datos de la estación meteorológica de Aluar Aluminio Argentino.

Tabla 1: Precipitación diaria 21/01/2016

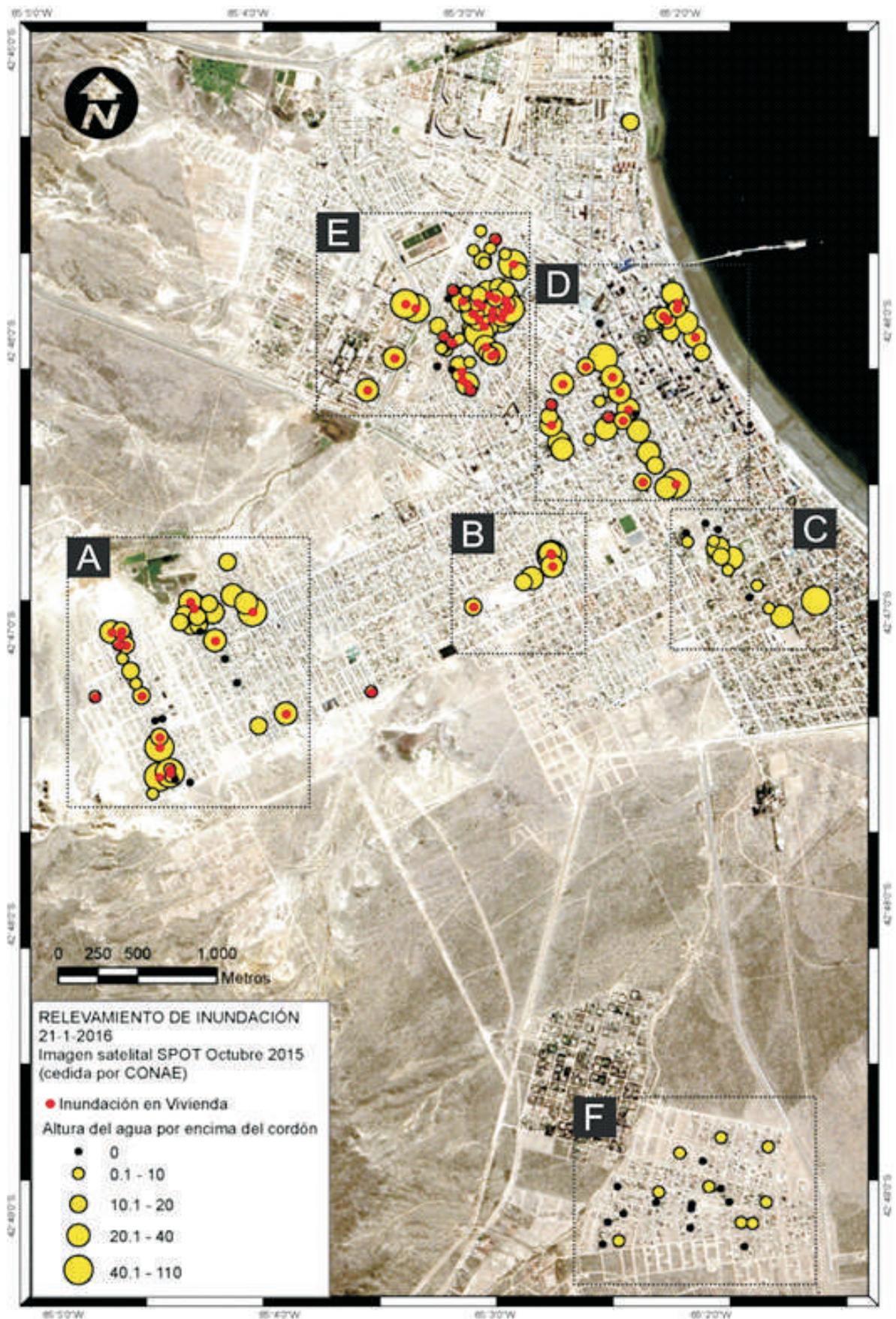


Figura 7: Imagen Satelital reciente de Puerto Madryn con localización de los sitios relevados en este informe. Los círculos amarillos indican la altura en centímetros a la que alcanzó el agua por encima del Cordón de la vereda, mientras que los círculos rojos indican puntos donde el agua entró a la vivienda/comercio.

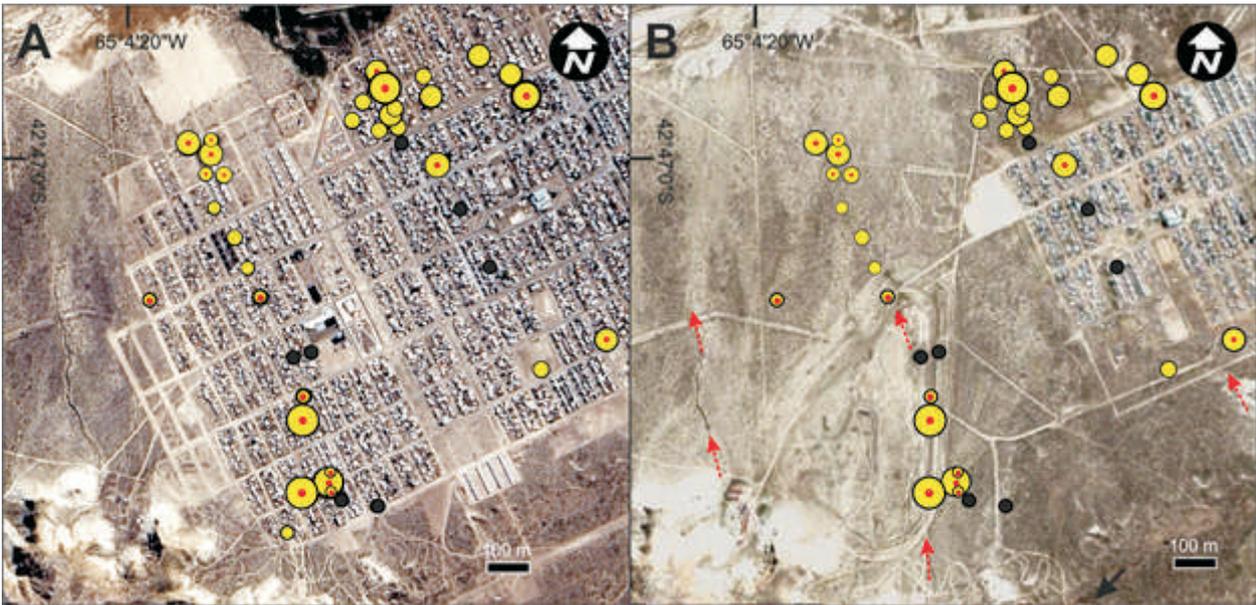


Figura 8: Imágenes satelitales antes y después de la urbanización de los Barrios Perón-San Miguel. A) Imagen Satelital año 2015. B) Imagen Satelital año 2002. Las flechas rojas indican sentido del escurrimiento.

Entre ambos barrios se relevaron 41 puntos. En 7 de ellos el agua no superó la altura del cordón de la vereda, en 34 inundó completamente la calle, alcanzando un máximo de 70 cm sobre el cordón de la vereda, y de ellos en 17 el agua entró a la vivienda (Fig. 7, Fig. 8). Dentro de este sector, las áreas más afectadas se localizan próximas al pie de la barda entre las intersecciones de las calles Villarino, Alem, Marquinez y Reynolds. Actualmente en esta región se observa la desembocadura de uno de los cañadones que bajan de la barda y en imágenes satelitales del 2002 (Fig. 8b)

previas a la traza de las calles, se distingue que el cañadón continuaba aguas abajo (hacia el norte). Otro lugar afectado se ubica al terminar la calle canal Ruperto Gimenez (desde la Av. Gales hacia el norte) donde se registró una zona en la que el nivel del agua alcanzó los 60 cm. Esto coincide con el sector donde la calle canal deja de ser tal y se convierte en una calle urbana convencional.

B: Las Bardas-Bahía Nueva

En este sector se relevaron 7 puntos. En todos ellos el agua superó el cordón de la

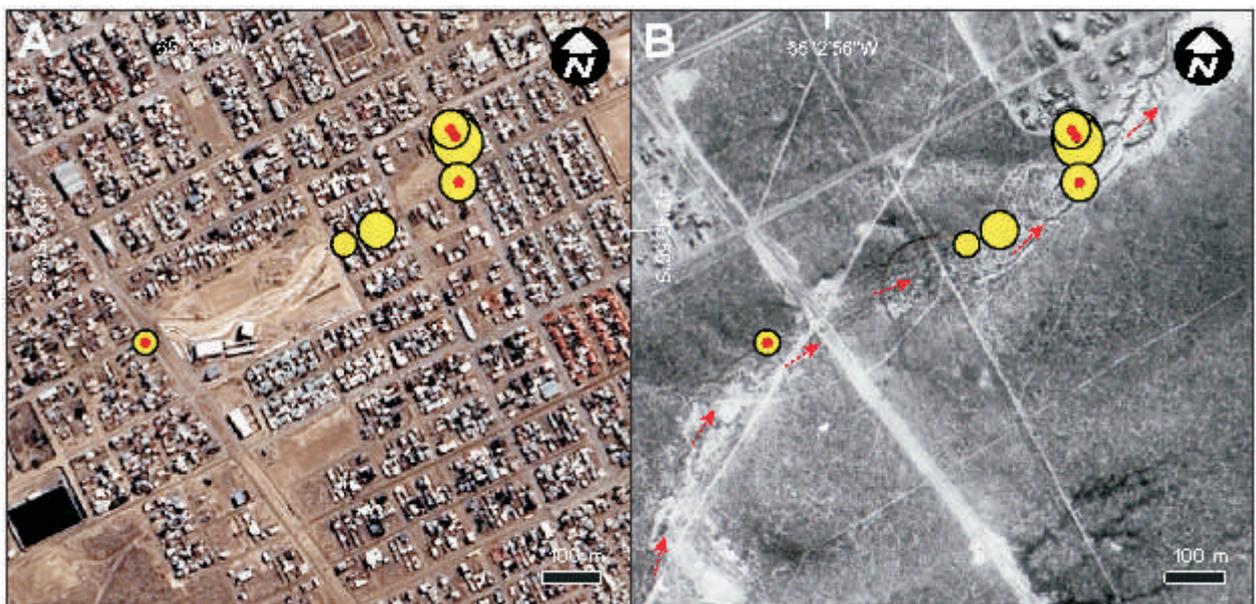


Figura 9: Imágenes satelitales y fotografías aéreas antes y después de la urbanización de los Barrios Las Bardas-Bahía Nueva. a) Imagen Satelital año 2015. b) Foto aérea año 1978. Flechas rojas indican sentido de escurrimiento sobre la traza del cañadón.

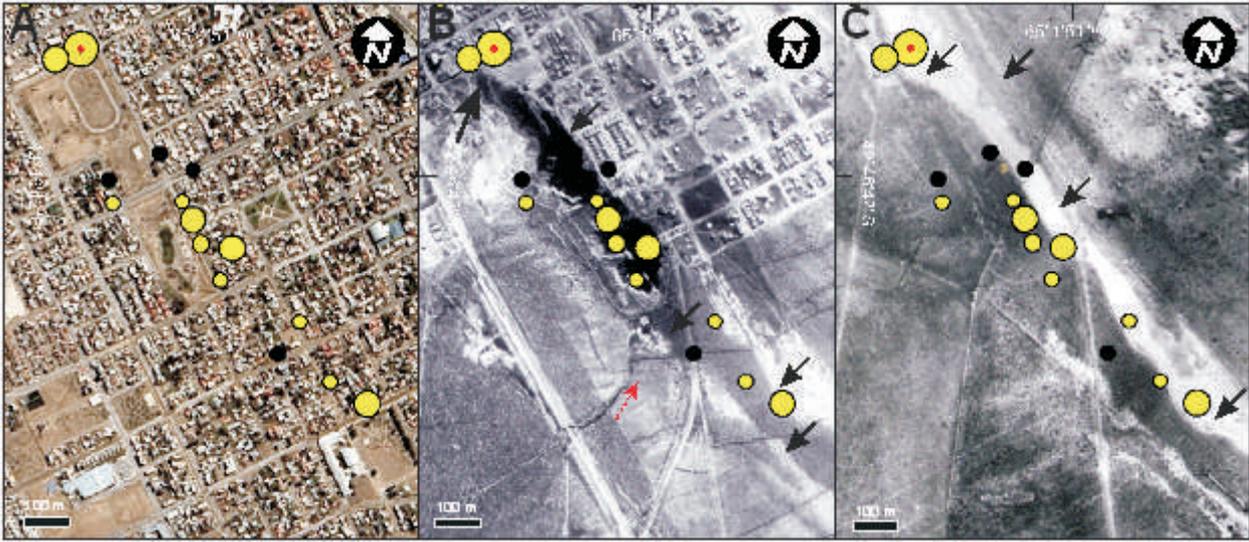


Figura 10: Imágenes satelitales y fotografías aéreas antes y después de la urbanización de los barrios Santa Clara-Villa del Parque. a) Imagen Satelital año 2015. b) Foto aérea del año 1978. c) Foto aérea del año 1940. Las flechas rojas indican sentido de escurrimiento mientras que las flechas negras indican la posición del intercordón.

vereda, alcanzando un máximo de 45 cm y en 4 el agua entró a la vivienda (Fig. 7; Fig. 9). La observación de fotografías aéreas antiguas (Fig. 9) indica que la inundación de esta zona está estrechamente relacionada con la urbanización sobre la traza de un antiguo cañadón (coincidente aproximadamente con las calles Rivadavia y Carranza, Fig. 9b) y que se interrumpe sobre la calle Bouchard.

C: Santa Clara-Villa del Parque

En esta área se relevaron 20 puntos (Fig. 7, Fig. 10). En 4 de ellos el agua no superó el cordón de la vereda, y en los restantes 16 sí,

alcanzando un máximo nivel de agua de 50 cm por encima del cordón de la vereda. En 2 de estos sitios el agua entró a la vivienda. Este sector se vio fuertemente afectado por la inundación debido a que representa una zona relativamente baja y alargada en paralelo a la costa, coincidente con las calles Maíz, San Marín y Marcos A. Zar, entre las Avs. Gales y Dorrego (Fig. 7; Fig. 10). Esta área de la ciudad recibe el escurrimiento superficial proveniente principalmente del suroeste, el cual ve impedida su salida al mar por una barrera topográfica (leve ondulación paralela a la costa coincidente aproximadamente con

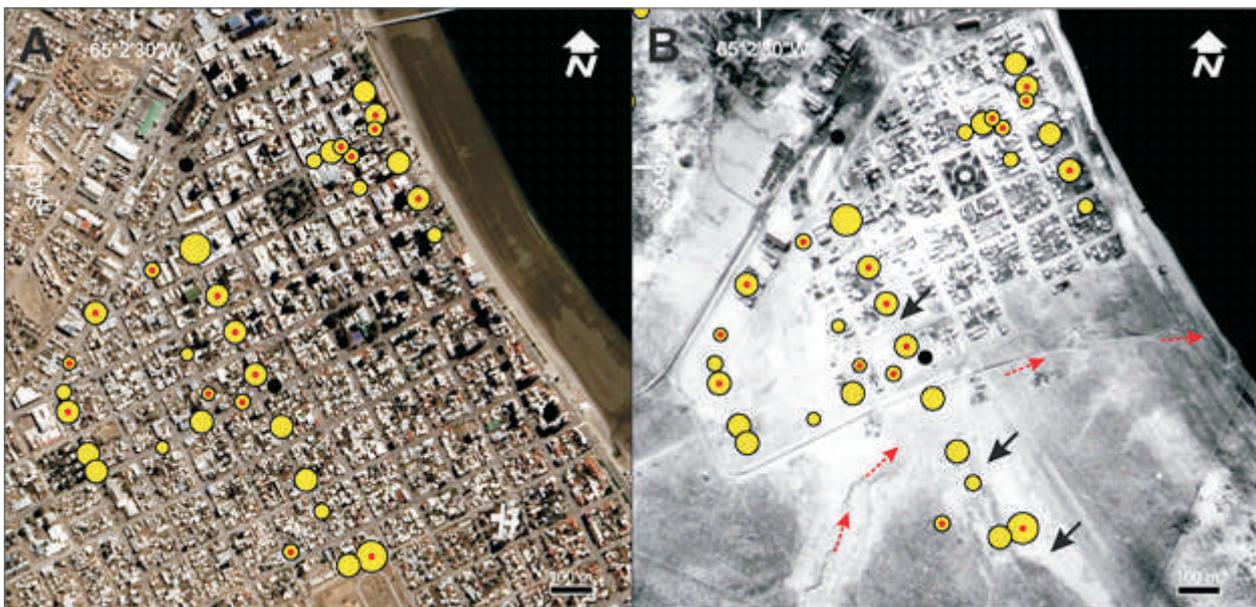


Figura 11: Imágenes satelitales y fotografías aéreas antes y después de la urbanización de los Barrios Parry Madryn-Conquistadores del Desierto. a) Imagen Satelital año 2015. b) Foto aérea año 1940. Flechas rojas indican sentido de escurrimiento; flechas negras posición del intercordón.

las calles Marcos A. Zar y Bartolomé Mitre). Históricamente, parte de esta zona funcionó como canteras de áridos para construcción, tal como puede observarse en la fotografía de 1978 (Fig. 10b), que luego fue parcialmente rellenada y edificada (Fig. 10a). Originalmente se trataba de un sector con antiguos cordones litorales de gravas (que corresponderían a un nivel del mar más elevado que el actual) e intercordanes (depresiones elongadas que conformaban las antiguas lagunas costeras) que se recuestan sobre un pequeño paleoacantilado. El mismo está representado por el nivel más alto de la calles Alvear-Juan B. Justo (Fig. 10c). Esos intercordanes fueron cubiertos con material fino (áreas blancas de suelo desnudo en la fotografía de 1940; Fig. 10c) y son actualmente las zonas que se ven más afectadas por inundaciones dentro de este sector.

D: Parry Madryn-Conquistadores del Desierto

En esta área, que incluye también a la zona más céntrica de la ciudad, se relevaron 30 puntos (Fig. 7, Fig. 11). En 29 de ellos el agua superó el cordón de la vereda, llegando en algunos casos a los 40 cm y habiendo entrado a la vivienda o local comercial en 14 de los sitios relevados (Fig. 11a). Al observar la fotografía aérea de

1940 (Fig. 11b) se observa que a la altura de la Av. Gales entre Marcelo T. Alvear y Av. Gobernador Maíz había un antiguo cañadón, cuya salida al mar es difícil apreciar porque ya se encontraba poblada la ciudad. La traza final del cañadón es difusa, sin embargo es posible detectar que acompaña la traza de la Av. Gales y luego se desvía ligeramente hacia el sur (Fig. 11b). Hacia el sector de la calle Maíz entre Av. Gales e Av. Hipólito Yrigoyen, se suma a esta situación la problemática antes descrita para el sector C, puesto que los cordones e intercordanes litorales descritos anteriormente habrían continuado aproximadamente por lo que es hoy la Av. Gobernador Maíz hasta la Av. Hipólito Yrigoyen. La desembocadura de un importante cañadón, sumada a la presencia de áreas bajas representadas por los intercordanes, asigna a esta zona una alta vulnerabilidad frente a eventos de tormenta, evidenciada por las históricas inundaciones sufridas en este sector. Adicionalmente, sobre la Av. Roca, el problema de anegamiento es a su vez incrementado por la presencia de la rambla costanera que tiene un efecto de “dique” sobre el agua que escurre por las calles hacia el mar.

E: Parque Industrial Liviano-Rucahué-Anonn Car

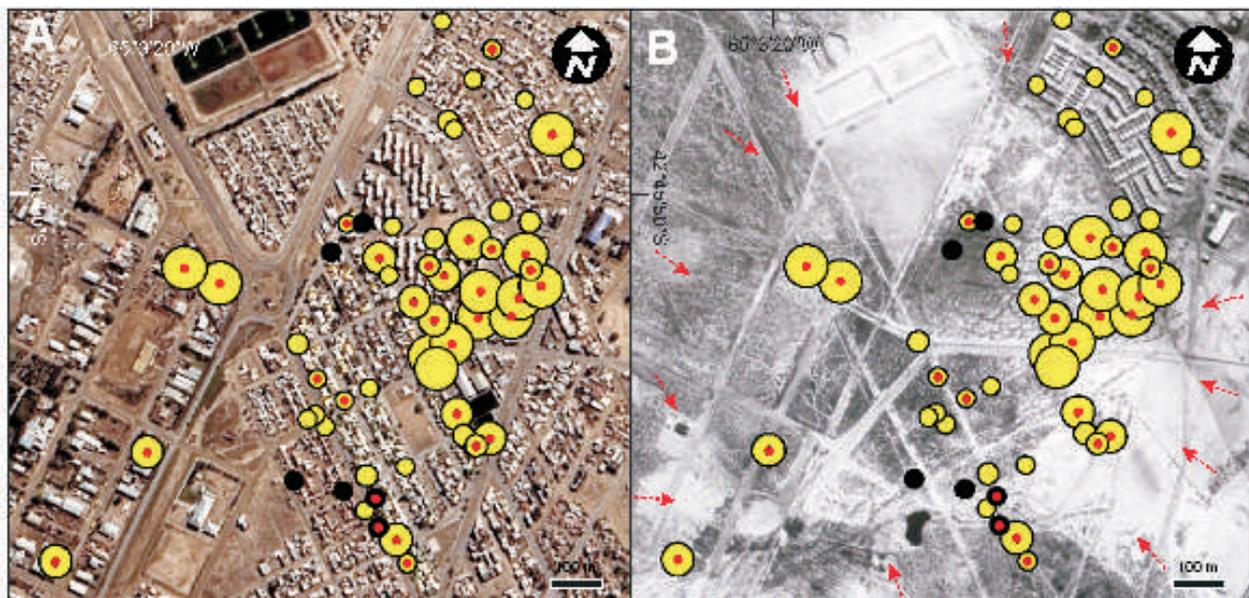


Figura 12: Imágenes satelitales y fotografías aéreas antes y después de la urbanización de los Barrios Parque Industrial Liviano-Rucahué-Anonn Car. a) Imagen Satelital del año 2015. b) Foto aérea del año 1978. Las flechas rojas indican sentido de escurrimiento.

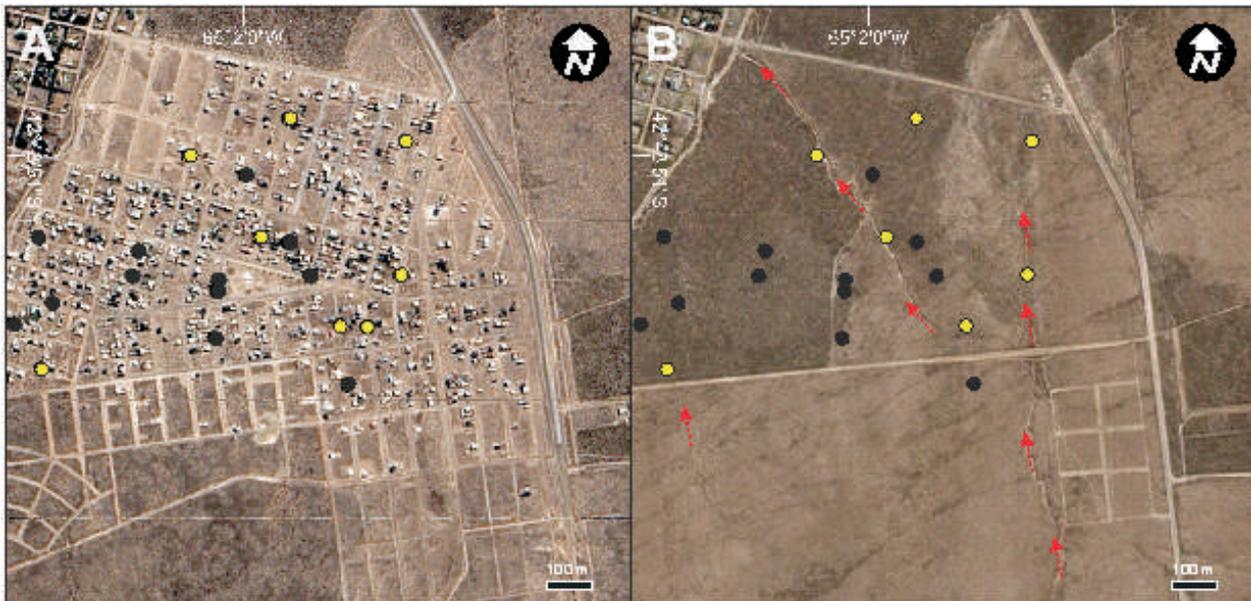


Figura 13: Imágenes satelitales antes y después de la urbanización del Barrio Solana. a) Imagen satelital del año 2015. b) Imagen satelital del año 1978. Las flechas rojas indican sentido de escurrimiento.

Esta área representa la más afectada de toda la ciudad, tanto por la altura que alcanzó el agua como por la extensión y afectación de las viviendas e industrias. Se relevaron 49 puntos de los cuales solo en 4 el agua no superó el cordón de la vereda y en más de 25 el agua entró a la vivienda o industria (Fig. 7, Fig. 12a). La altura máxima que se registró en este sector es de 110 cm, siendo además la más alta de todo el relevamiento (Fig. 7). En esta zona se observa la llegada de un importante cañadón desde el oeste, que drena la cuenca más extensa que atraviesa a Puerto Madryn (Fig. 1). Esta cuenca colecta el agua de gran parte de los Barrios Perón-San Miguel como así también de todo un sector no urbanizado ubicado al oeste del Acceso Sur a la ciudad. En las fotografías aéreas más antiguas, se observa que ese cañadón termina en una zona deprimida de baja pendiente sin conexión directa con el mar (Fig. 12b). La inundación de este sector se genera cuando el flujo proveniente desde la cuenca alta pierde velocidad y encauzamiento al entrar al área plana y se derrama con la consiguiente deposición del material fino que acarrea desde las cabeceras. Esta situación se vio agravada originalmente con la construcción del terraplén de la antigua vía del ferrocarril hoy coincidente aproximadamente con las calles Dr. Avila e Italia, que actúan como

retardadores del drenaje.

F: Solana

En esta área se relevaron 19 puntos, de los cuales en 7 el agua inundó la calle y en los restantes no (Fig. 13a). Este barrio tiene en general una pendiente alta hacia el norte que drena rápidamente e impide el anegamiento. No obstante, al observar las imágenes satelitales previas a la urbanización del barrio, se observa claramente que las calles inundadas coinciden con la traza de cañadones que drenaban hacia el cauce principal que funciona de límite entre el Barrio Quintas del Mirador y el Barrio Solana (Fig.13b).

7- CONSIDERACIONES FINALES

7.1. Diagnostico General

El 21 de enero del 2016 durante las 15 y las 19 hs llovieron en Puerto Madryn 67 mm (registro máximo observado) en dos momentos, caracterizados por sendos picos de alta intensidad que superaron ampliamente las tasas de infiltración de gran parte de los suelos de la región (inferiores a los 40 mm/h; Rostagno, 1989).

El impacto de esta tormenta se manifestó en forma de inundaciones que se registraron en distintos sectores de la

ciudad. Numerosas calles fueron anegadas por encima del cordón de la vereda, acompañando en varios casos la inundación de viviendas, industrias y comercios. El nivel de agua máximo medido por encima del cordón de la vereda fue de 110 cm.

El análisis histórico de las precipitaciones y su impacto indican que la ciudad de Puerto Madryn se ha inundado en reiteradas oportunidades. Cuando la lluvia excede los 50 mm diarios, independientemente de su intensidad, la ciudad se inunda. Este registro de precipitación implica una recurrencia media de 3,8 años, es decir que la ciudad se inunda en promedio cada cuatro años. No obstante, esta conclusión no descarta que con precipitaciones diarias menores a 50 mm, pero de mayor intensidad, existan problemas de inundaciones.

La cuantificación espacial de las áreas anegadas durante este evento refleja que las zonas que se inundaron están vinculadas con rasgos geomorfológicos que se han desestimado o subestimado al momento de desarrollar la urbanización de la ciudad. Algunos ejemplos son la urbanización en depresiones topográficas cerradas (Caso E: Parque Industrial Liviano, Rucahué, Annonn Car), urbanización sobre cañadones (Casos A, B, F: Perón-San Miguel, Las Bardas-Bahía Nueva, Solana) y urbanización sobre intercordones (Casos C y D: Santa Clara-Villa del Parque, Parry Madryn-Conquistadores del Desierto).

El drenaje deficiente de pluviales por pérdida de conducción hidráulica, el incremento del arrastre de sedimentos por aumento del área con suelos desnudos, y la obstrucción de lugares naturales de escurrimiento superficial (e.g. relleno de cañadones con basura u obstrucción con obras viales que no incluyen sistemas de drenaje) son agravantes del control geomorfológico de las inundaciones.

7.2. Recomendaciones

Sobre la base del análisis realizado, se recomienda:

1) Tener en cuenta aspectos geomorfológicos al planificar la urbanización de la ciudad para no reincidir en los mismos problemas históricos. Una caracterización y análisis del terreno en conjunto con buenas prácticas de gestión pública-privada permiten realizar urbanizaciones sin riesgo de inundaciones, incluso en sitios potencialmente anegables. En una ciudad como Puerto Madryn, tal como ocurre en la mayoría de las ciudades con disponibilidad de superficie para crecer, estudios de riesgo hídricos preventivos representan inversiones económicas de varios órdenes de magnitud menor que las obras hidráulicas necesarias para mitigar o revertir problemas de inundaciones.

2) Realizar un estudio integral de riesgo hídrico de la ciudad de Puerto Madryn que permita ajustar umbrales de precipitaciones de riesgo y localización de sitios con problemas de inundación.

3) Generar un sistema de coordinación, monitoreo y alerta temprana con pronósticos de precipitaciones diarias (con énfasis en eventos extremos) a los fines de coordinar eventuales tareas de evacuación y ayuda de áreas inundadas.

4) Coordinar tareas de relevamiento y trabajo conjunto público-privado entre instituciones locales que aborden la problemática del riesgo hídrico. Se busca con esto, no solo actores técnicos locales que tengan los elementos científico/tecnológicos necesarios para realizar estos estudios, sino también que manejen un conocimiento socioambiental integral de la ciudad.

Por último, si bien no fueron el objetivo de este estudio, se detectaron algunas problemáticas que agravan la situación de riesgo hídrico en la ciudad. Se recomienda analizar y solucionar las mismas a corto plazo:

- Colapso de sectores del sistema cloacal

durante eventos de tormenta (e.g. sistema cloacal de la Calle Ruperto Gimenez).

- Colapso de obras hidráulicas. No solo porque carecen actualmente de la capacidad de transporte original, debido a que se encuentran parcialmente obstruidas por sedimentos/basura, sino también porque fueron planificadas para condiciones disímiles a las actuales/futuras (e.g. la obra de zanja de guardia superó su capacidad de carga y pone en riesgo un sector urbanizado de la ciudad hacia el sur).
- Relleno con basura o sedimentos de cañadones naturales no urbanizados (e.g. cañadón en el extremo oeste del barrio Perón).
- Reducción de áreas de infiltración y aumento de superficies de suelo descubierto (e.g. la obra del boulevard que divide los barrios la Arboleda y Alta Tensión aportó gran cantidad de sedimentos sueltos que saturó los sistemas pluviales aguas abajo).
- Falta de coordinación en tareas de evacuación y ayuda durante eventos de tormenta (e.g. durante el desarrollo de encuestas se detectó que si bien existieron organismos gubernamentales y referentes políticos que ayudaron en distintos sectores de la ciudad, también existieron numerosas falencias y desarticulaciones para proporcionar asistencia a los damnificados).

BIBLIOGRAFÍA

BEEKSOW, A.M., H. F. del Valle y C. M. Rostagno. 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia de Chubut. SECYT Delegación Regional Patagonia. 168 pp.

CODIGNOTTO, J.O., KOKOT, R.R. & MARCOMINI, S.C., 1992. Neotectonism and sea level changes in the coastal zone of Argentina. *Journal of Coastal Research*, 8, 125-133.

HALLER, M.J., MEISTER, C.M., MONTI, A.J.A. & WEILER, N., 2005. Hoja Geológica 4366-II, Puerto Madryn, Provincia del Chubut. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 289. Buenos Aires.

KAMINKER, S., 2016. Segregación Residencial en Puerto Madryn, Chubut (1991-2010). Formas y efectos de una urbanización acelerada en una ciudad intermedia de la Patagonia Central. Tesis Doctoral, Instituto de Altos Estudios Sociales, UNSAM. 403 p.

MONTI, A. J., 1997. Morfodinámica y Ciclicidad de la Acreción en Depósitos Costeros del Holoceno, Chubut, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 192 p.

ROSTAGNO, C.M. & DEL VALLE H.F., 1988. Mounds associated with shrubs in aridic soils of northeastern Patagonia: characteristics and probable genesis. *Catena*, 15:347-359

ROSTAGNO, C.M., 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *Journal of Range Management*. 42, 382-385

ROSTAGNO, C.M., CORONATO, F., DEL VALLE, H. & PUEBLA, D., 1999. Runoff and erosion in five land units of a closed basin of

northeastern Patagonia. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13: 281-292.

SÚNICO, A., 1996. Geología del Cuaternario y Ciencia del Suelo : Relaciones Geomórficas-Estratigráficas con Suelos y Paleosuelos. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 227 p.

Anexo 1

<p>Buen día, mi nombre es..... y estamos queriendo conocer cómo vivieron los vecinos y vecinas la última tormenta grande que sufrió la ciudad en enero (21/01/2016) y qué consecuencias tuvo en sus casas. Si no es inconveniente, le sacaremos 10 minutos de su tiempo para hacerle algunas preguntas. Las encuestas son anónimas y serán utilizadas para hacer un informe que se le presentará a la municipalidad para que le sirva para tomar decisiones hacia el futuro.</p>	
Nombre	
Dirección (Calle, Nº, Barrio)	
¿A qué hora aproximadamente el agua empezó a entrar en su vivienda?	
¿Qué altura alcanzó el agua con relación a la vereda, el umbral de la puerta o la calle?	
¿A qué hora había más agua dentro de su vivienda?	
¿A qué hora el agua se retiró de manera completa de su vivienda?	
¿El agua estaba contaminada? ¿Con qué cree usted? ¿Tenía olor? ¿A qué tenía olor?	
¿Se había inundado anteriormente? ¿Cuándo? ¿Cuánto?	
¿Tuvo pérdidas materiales en esta inundación? ¿Cuáles?	
¿Recibió alguna ayuda? ¿Cuál?	
Observaciones (Agregue cualquier otra cuestión que le parezca relevante)	