

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322477594>

Inundaciones en las cuencas de los arroyos Sarandí y Santo Domingo. Identificación de zonas vulnerables al impacto de precipitaciones extremas.

Technical Report · September 2015

CITATIONS

0

READS

4,139

6 authors, including:



Leandro David Kazimierski
Instituto Nacional del Agua

37 PUBLICATIONS 81 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Emilio Lecertua
Instituto Nacional del Agua

28 PUBLICATIONS 32 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mariano Re
Instituto Nacional del Agua

82 PUBLICATIONS 452 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lucas Storto
Instituto Nacional del Agua

10 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Anticipando la crecida [View project](#)



Evaluación del potencial energético de las corrientes de marea en estuarios patagónicos mediante modelación numérica / Assessing the tidal potential energy in Patagonian estuaries through numerical modeling [View project](#)



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
REPÚBLICA ARGENTINA



Inundaciones en las cuencas de los arroyos Sarandí y Santo Domingo

Identificación de zonas vulnerables al impacto de precipitaciones extremas



Proyecto INA 335
Informe LHA 02-335-15
Ezeiza, Septiembre de 2015

Laboratorio de Hidráulica

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Dr. Raúl A. LOPARDO

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Ing. Jorge A. MAZA

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Ing. Julio C. DE LÍO

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Jorge D. BACCHIEGA

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. Nicolás D. BADANO

Ing. Leandro D. KAZIMIERSKI

Ing. Emilio A. LECERTUA

Ing. Mag. Mariano RE

Lucas STORTO

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Ing. Pablo Ezequiel GARCÍA

INFORME PRODUCIDO POR

Ing. Leandro KAZIMIERSKI

Ing. Emilio A. LECERTUA

Ing. Mag. Mariano RE

Lucas STORTO

Ing. Nicolás D. BADANO

Ing. Pablo Ezequiel GARCÍA

Inundaciones en las cuencas de los arroyos Sarandí y Santo Domingo

Identificación de zonas vulnerables al impacto de precipitaciones extremas

RESUMEN

Ante la ocurrencia del evento de precipitación excepcional sucedido en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada los días 2 y 3 de abril de 2013, la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) solicitó al Instituto Nacional del Agua (INA) estudiar el impacto de eventos de precipitación similares en distintas cuencas de la Región Metropolitana de Buenos Aires. El Programa de Hidráulica Computacional del Laboratorio de Hidráulica se encargó de la modelación hidrológica - hidráulica de la cuenca Sarandí – Santo Domingo con el fin de identificar las regiones más vulnerables frente a un evento de tales características en esta cuenca (muy densamente poblada, aproximadamente 1.200.000 habitantes). Para este estudio se utilizó el software SWMM, y dado el tamaño y complejidad de la zona de estudio, se desarrolló una metodología mayormente automática para la implementación del modelo (software *ConuPy 1.0*). Se simuló una tormenta similar a la sucedida en La Plata y como resultados principales se obtuvieron las alturas máximas y duración de inundación elaborándose los correspondientes mapas. Conjuntamente, se obtuvieron las velocidades máximas en las calles, que junto con los niveles de agua alcanzados permitieron construir mapas de inundabilidad dinámica, que representan una medida de la peligrosidad del escurrimiento en la red de drenaje urbana.

Descriptores temáticos: Cuencas urbanas, Hidrología, Hidráulica, Modelación Numérica.

Descriptores geográficos: Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. SISTEMA HÍDRICO	5
2.1. Región Metropolitana de Buenos Aires	5
2.2. Cuencas Vertientes al Río de la Plata	6
2.3. Cuenca Sarandí – Santo Domingo	7
2.3.1. Subcuenca Sarandí	9
2.3.2. Subcuenca Santo Domingo	10
2.4. Análisis poblacional de la Cuenca Sarandí Santo - Domingo	11
3. CLIMATOLOGÍA Y METEOROLOGÍA	22
3.1. Climatología	22
3.1.1. Precipitaciones	22
3.1.2. Sudestadas	28
3.2. Meteorología	30
3.2.1. Tormentas extremas significativas	30
3.2.1.1. Buenos Aires: 30 y 31 de mayo de 1985	30
3.2.1.2. La Plata: 2 de abril de 2013	30
3.2.2. Tormentas esperables en la RMBA	31
4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO	33
4.1. Software EPA-SWMM	33
4.2. Preprocesador ConuPy 1.0	34
4.3. Datos de entrada del modelo	36
4.3.1. Red de arroyos y conductos	36
4.3.2. Red de calles	37
4.3.3. Modelo Digital del Terreno	38

4.3.4. Uso del suelo	38
4.4. Módulo de Escorrentía	39
4.5. Módulo Transporte	39
4.6. Elementos modelados	39
5. DESCRIPCIÓN DE LA MODELACIÓN Y RESULTADOS	42
5.1. Forzantes	42
5.2. Alcance máximo superficial	43
5.3. Intensidad de sumersión	46
5.4. Perfiles longitudinales	51
5.5. Alturas de agua en puntos de interés	54
6. CONCLUSIONES	58
ANEXO I – DETALLES DE ARROYOS	59
AI.1 Arroyo Sarandí - Galíndez	59
AI.2 Arroyo Santo Domingo	62
AI.3 Arroyo Las Perdices	63
AI.4 Arroyo San Francisco	70
AI.5 Arroyo de Las Piedras	72

1. INTRODUCCIÓN

El evento de precipitación excepcional sucedido en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada los días 2 y 3 de abril de 2013 ocasionó la muerte de decenas de personas, innumerables daños materiales y graves secuelas psicológicas en las personas afectadas que aún hoy perduran ante cualquier amenaza de tormenta^{1,2}.

Ante este evento extraordinario, la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) solicitó al Instituto Nacional del Agua (INA) estudiar eventos de precipitación similares en distintas cuencas de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA). El INA, a través de los Programas de Hidráulica Computacional, Hidráulica Fluvial e Hidráulica de Obras pertenecientes al Laboratorio de Hidráulica, focalizó los estudios en cuencas de alto grado de urbanización con graves problemáticas de inundación y donde la autoridades de cuenca son inexistentes o de reciente creación³. En este trabajo se presenta la modelación hidrológica - hidráulica de la cuenca Sarandí – Santo Domingo con el fin de identificar las regiones más afectadas frente a un evento de tales características.

La cuenca de los arroyos Sarandí y Santo Domingo atraviesa una zona urbana densamente poblada de la RMBA. Abarca los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón, con un área de cuenca de 240 km² y población aproximada de más de un millón de habitantes. El objetivo del presente trabajo es identificar las zonas más vulnerables ante un evento extremo de precipitación utilizando un modelo hidrológico – hidráulico.

Para el estudio de las inundaciones se utilizó el software SWMM (*Storm Water Management Model*), que es un modelo dinámico de simulación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía. Se simuló un evento de características similares al sucedido en el partido de La Plata el 2 de abril de 2013. A partir de esta simulación se obtuvieron las alturas máximas de inundación y se elaboraron los correspondientes mapas de inundación y duración. Conjuntamente, se obtuvieron las velocidades máximas en las calles y se elaboraron mapas de inundabilidad dinámica, que representan una medida de la peligrosidad del escurrimiento en la red de drenaje urbana.

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2013. Características meteorológicas del evento de precipitaciones intensas ocurridas el 2 de Abril de 2013. Informe del 25 de Abril de 2013.

² Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 2013. Estudio sobre la Inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Ensenada y Berisso. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica.

³ Instituto Nacional del Agua (INA), 2014. Estudio de Inundabilidad del Conurbano Bonaerense. Informe de Diagnóstico. Cuencas Arroyos Luján, Sarandí, Santo Domingo, Jiménez y Las Conchitas. Laboratorio de Hidráulica.

2. SISTEMA HÍDRICO

2.1. Región Metropolitana de Buenos Aires

La RMBA es una regionalización operativa y funcional que comprende la Ciudad de Buenos Aires y a cuarenta partidos de la Provincia de Buenos Aires (Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Berisso, Brandsen, Campana, Cañuelas, Ensenada, Escobar, Esteban Echeverría, Exaltación de la Cruz, Ezeiza, Florencio Varela, General Las Heras, General Rodríguez, General San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, La Matanza, La Plata, Lanús, Luján, Lomas de Zamora, Malvinas Argentinas, Marcos Paz, Merlo, Moreno, Morón, Pilar, Presidente Perón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, San Vicente, Tigre, Tres de Febrero, Vicente López, y Zárate).

La mancha urbana de la RMBA abarca alrededor de 2500 km², y se ubica sobre la costa del Río de la Plata y al sur del Bajo Delta del Río Paraná (Figura 2.1).

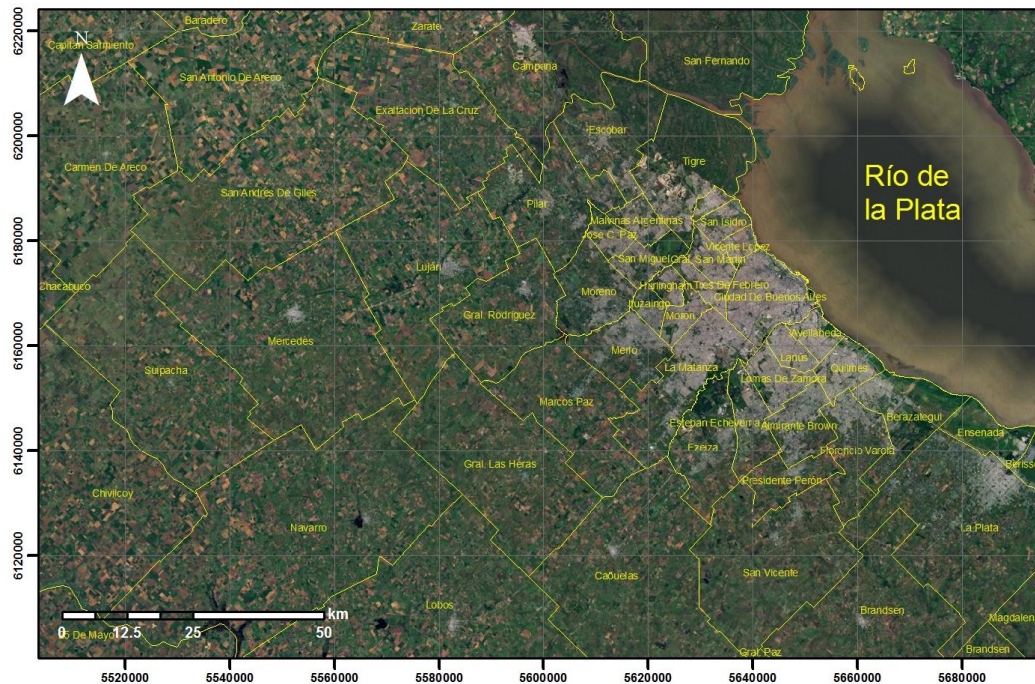


Figura 2.1. Mancha urbana de la RMBA.

La RMBA concentra el 37% de la población total de la Argentina en un espacio menor al 1% del territorio nacional, mientras que los partidos bonaerenses de la RMBA aglutinan el 80%

del total de la población de la Provincia de Buenos Aires en algo menos del 4% del territorio provincial⁴. En la RMBA se produce aproximadamente el 52% del PBI del país⁵.

La Figura 2.2 muestra las cuencas principales de la RMBA: río Luján y Arroyo Escobar, río Reconquista, Arroyos Medrano, Vega y Maldonado, río Matanza-Riachuelo y las cuencas de los arroyos vertientes al Río de La Plata (Vertiente Superior, Intermedia e Inferior).

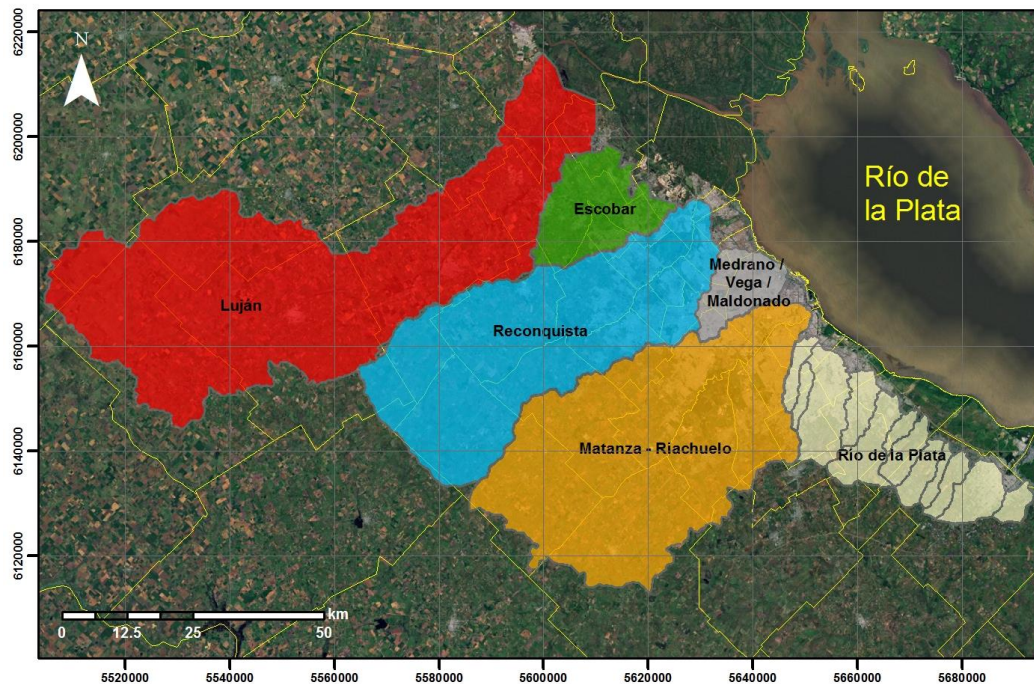


Figura 2.2. Cuencas vertientes al Río de la Plata.

2.2. Cuencas Vertientes al Río de la Plata

Hacia el sur de la RMBA las cuencas de numerosos arroyos descargan sus aguas hacia el Río de la Plata. La mayoría de estas cuencas, principalmente en la Vertiente Superior, tienen una porción mayoritaria de área urbanizada respecto del área más permeable que se encuentra, en general, en las partes altas de las mismas.

La Figura 2.3 presenta las cuencas de la Vertiente Superior al Río de la Plata. Las primeras (Sarandí, de las Perdices y Santo Domingo) corresponden al Sistema Sarandí – Santo Domingo.

⁴ Fernández, L., 2011. Censo 2010. Somos 14.819.137 habitantes en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Instituto del Conurbano. Universidad Nacional de General Sarmiento.

⁵ SSUyV-DPOUyT, 2007. Lineamientos estratégicos para la Región Metropolitana de Buenos Aires. Subsecretaría de Urbanismo y Vivienda, Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.

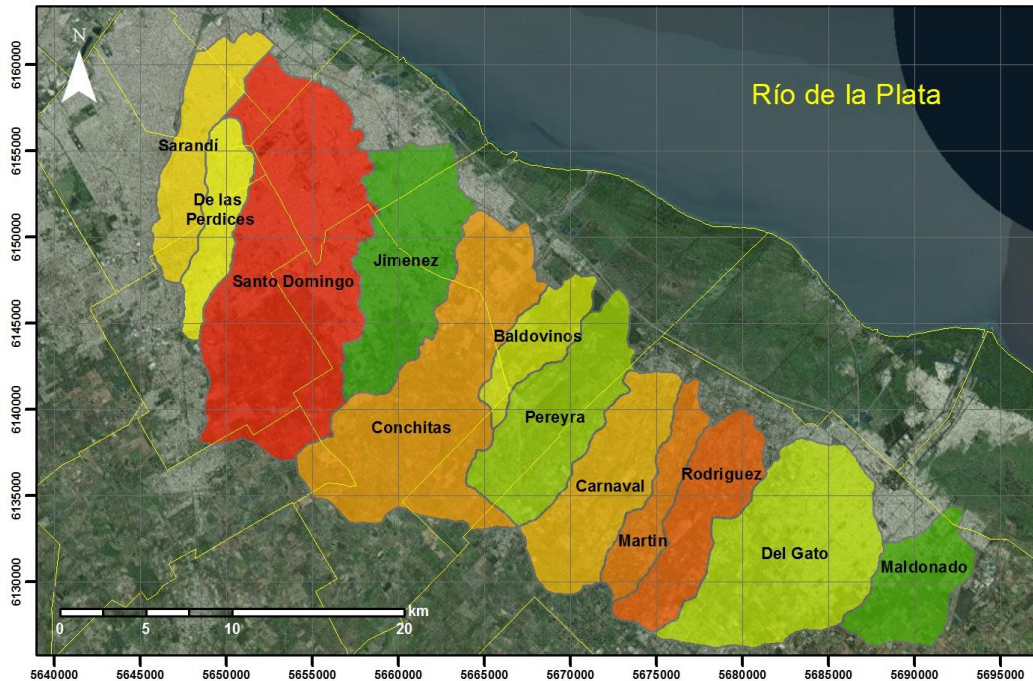


Figura 2.3. Cuencas de la Vertiente Superior e Intermedia al Río de la Plata.

2.3. Cuenca Sarandí – Santo Domingo

La Figura 2.4 muestra en detalle la cuenca Sarandí – Santo Domingo. La misma se orienta en sentido sur - norte y es vertiente al Río de la Plata. Es colindante a la cuenca del río Matanza – Riachuelo hacia el oeste y las cuencas de los arroyos Jiménez y Las Conchitas al este.

La cuenca está dividida en dos subcuencas principales: la subcuenca Sarandí, que incluye al arroyo Galíndez; y la subcuenca Santo Domingo que incluye a los arroyos Las Perdices (que originalmente descargaba hacia el arroyo Sarandí), San Francisco y Las Piedras. En la Figura 2.5.a se muestra la división de las subcuencas y los arroyos principales, discriminando si corresponde a canal a cielo abierto (líneas azules) o entubado (líneas marrones), mientras que en la Figura 2.5.b se muestran las divisiones administrativas por localidad. A continuación se describen brevemente las características de las subcuencas.

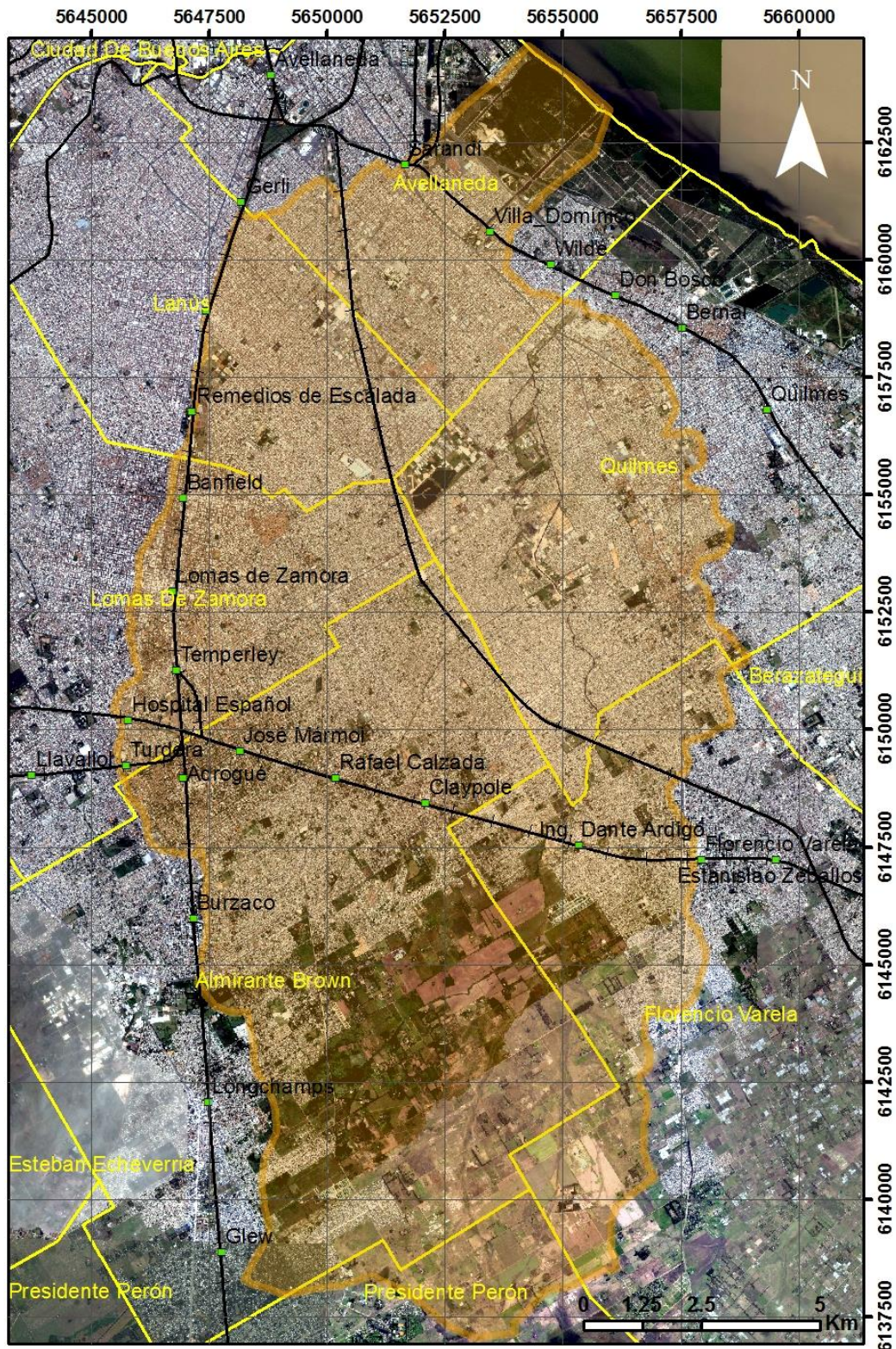
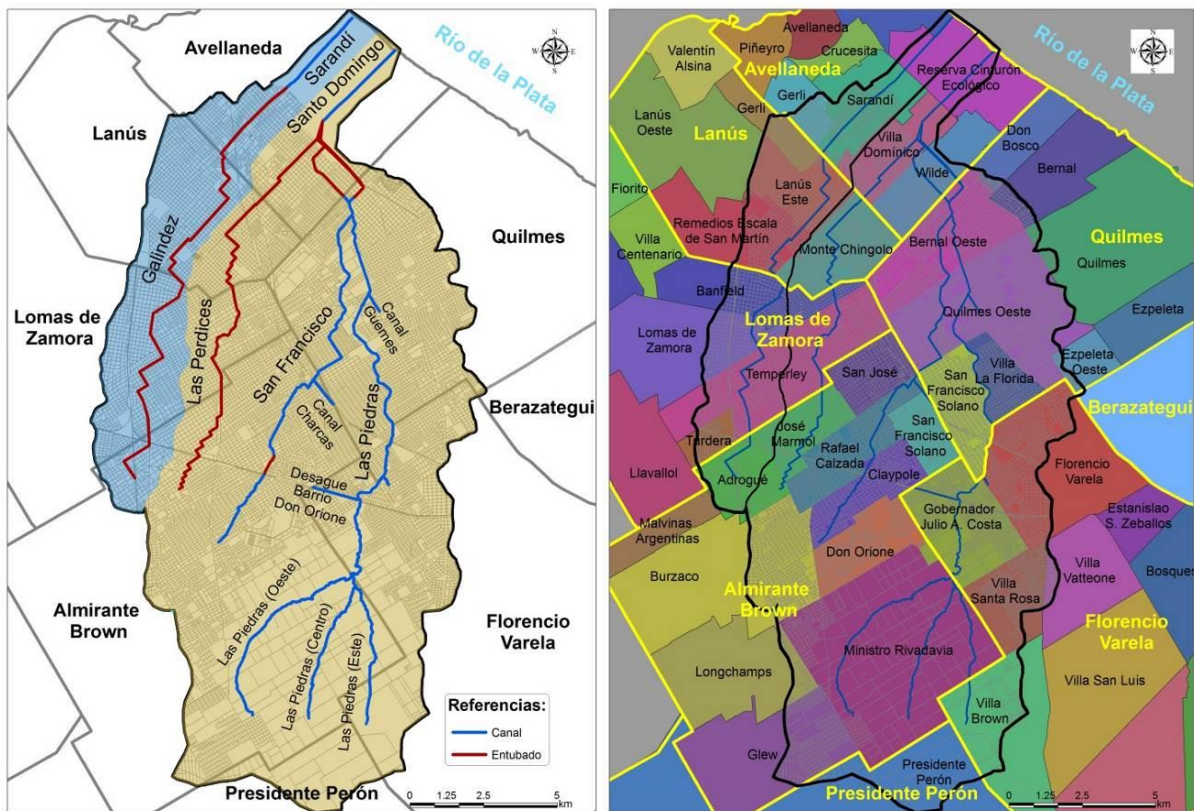


Figura 2.4. Cuenca Sarandí – Santo Domingo.



a. Arroyos principales

b. División Administrativa

Figura 2.5. Detalles de las subcuencas Sarandí y Santo Domingo.

2.3.1. Subcuenca Sarandí

La cuenca del Arroyo Sarandí - Galíndez abarca un área de 43,9 km² comprendiendo los partidos de Almirante Brown, Lomas de Zamora, Lanús y Avellaneda.

En el partido de Almirante Brown la cuenca abarca una superficie de 4,7 km² equivalente a un 11% del total de la cuenca, con las nacientes en la localidad de Adrogué. En el partido de Lomas de Zamora, la cuenca cubre un área de 15,3 km², un 35% del total de la cuenca dentro de las localidades de Turdera, Temperley, Lomas de Zamora y Banfield.

Aguas abajo el arroyo ingresa en el partido de Lanús por la localidad de Remedios Escalada cubriendo además el oeste de Monte Chingolo, Lanús Este y Gerli con un total de 12,8 km². Por último en el partido de Avellaneda, la cuenca cubre un área de 11,1 km² en las localidades de Gerli, Sarandí y la Reserva del Cinturón Ecológico.

La superficie de la cuenca se encuentra completamente urbanizada, a excepción de la zona hacia aguas abajo de la Autopista Buenos Aires – La Plata sobre la Reserva del Cinturón Ecológico (zona de quintas de Avellaneda). Limita al oeste por el Ferrocarril Roca (Ramal Plaza Constitución – Alejandro Korn) y vierte sus aguas en el Río de La Plata a pocos metros del Polo Petroquímico Dock Sud.

El escurrimiento de la cuenca se encuentra modificado de forma artificial. Naturalmente se extendía hasta las proximidades de la localidad de Longchamps, en el partido de Almirante Brown, donde nacía el curso con el nombre de Arroyo de las Perdices; recién después de recibir como afluente al Arroyo Galíndez a la altura de Lanús donde se convertía en el Arroyo Sarandí hasta su desembocadura en el Río de la Plata.

Mediante la obra denominada “Saneamiento de la Cuenca del Arroyo Sarandí y Santo Domingo, 2° Etapa – Desviación y Entubamiento del Arroyo Las Perdices” el Arroyo Las Perdices fue entubado y conectado con el Arroyo Santo Domingo, modificando el sistema de cuencas⁶. No se sabe con exactitud la fecha de esta obra, pero se conoce que fue durante las décadas del 60 y 70. En esta nueva situación, el Arroyo Galíndez y el Arroyo Sarandí forman un único cauce con su nacimiento en el partido de Almirante Brown luego del cruce de los ferrocarriles Roca (Ramal Plaza Constitución – Alejandro Korn) y Sarmiento (Ramal Temperley - Haedo) en la estación de Temperley (Figura 1.3). Todo este sistema se encuentra entubado desde sus nacientes hasta el cruce con el Ferrocarril Roca (Ramal Plaza Constitución – La Plata). Luego se encuentra rectificado y a cielo abierto (Canal Sarandí) hasta su desembocadura. La longitud de su cauce principal es de aproximadamente 21 *km*.

Más detalles de los arroyos y sus respectivas trazas se encuentran en el Anexo I.

2.3.2. Subcuenca Santo Domingo

La subcuenca del arroyo Santo Domingo comprende una superficie de aproximadamente 200 *km*², con una extensión del cauce principal de aproximadamente 23 *km*. Abarca parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón. El tramo principal es el arroyo Las Piedras, sus nacientes son tres arroyos a cielo abierto de escasas dimensiones en la zona de cultivos de la localidad de Ministro Rivadavia, partido de Almirante Brown. El cauce toma importancia en el ingreso de la localidad de Gobernador Costa, partido de Florencio Varela, donde recibe las aguas del desagüe del barrio Don Orione, paralelo a las vías del Ferrocarril Roca. Continúa hacia aguas abajo atravesando las localidades de San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste y Bernal Oeste. Luego de recibir como único afluente de importancia al arroyo San Francisco, penetra en una antigua zona de bañados (cañada de Gaete), se bifurca en un curso natural y otro artificial, entra nuevamente en una zona de bañados (cerca de Villa Gonnet), continuando luego hasta verter sus aguas en el Santo Domingo, que se encuentra canalizado. A lo largo de toda su traza permanece a cielo abierto, parcialmente rectificado en algunos tramos y de dimensiones variables. El arroyo Las Perdices, originariamente de la subcuenca del arroyo Sarandí, se encuentra interconectado al canal Santo Domingo mediante un sistema de conductos rectangulares⁷.

⁶ Consejo Federal de Inversiones (CFI), 2013. Sistematización hídrica y control de inundaciones en la Cuenca del Arroyo Las Perdices, provincial de Buenos Aires. Informe final integrador. Estudios y Proyectos SRL. Abril del 2013. (<http://www.biblioteca.cfi.org.ar>)

⁷ Consejo Federal de Inversiones (CFI), 2013. Sistematización hídrica y control de inundaciones en la Cuenca del Arroyo Las Perdices, provincial de Buenos Aires. Informe final integrador. Estudios y Proyectos SRL. Abril del 2013. (<http://www.biblioteca.cfi.org.ar>)

En el partido de Avellaneda la cuenca abarca una superficie de 13,8 km^2 equivalente a un 7% del total de la cuenca. En el partido de Quilmes, la cuenca cubre un área de 41,9 km^2 , un 21% del total de la cuenca dentro de las localidades de San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste y Bernal Oeste. En el partido de Lanús, la cuenca ocupa 7,8 km^2 , que representa el 4% del área total de la misma, cubriendo la totalidad de Monte Chingolo y Lanús Este y parte de Remedios Escalada y Gerli. En el partido de Lomas de Zamora, la cuenca abarca una superficie de 9,5 km^2 equivalente a un 5% del total de la cuenca ocupando parte de las localidades de Temperley, Banfield y Lomas de Zamora. En el partido de Almirante Brown, la cuenca cubre un área de 81,8 km^2 , un 42% del total de la cuenca dentro de las localidades de Don Orión, Longchamps, Burzaco, Malvinas Argentinas, Rafael Calzada, Claypole, Glew, San Francisco Solano, Ministro Rivadavia y San José. En el partido de Florencio Varela, la cuenca ocupa 33,6 km^2 , que representa el 17% del área total de la misma, cubriendo parte de las localidades de Florencio Varela, Gobernador Costa, Villa Santa Rosa, Villa Brown y Villa Vatteone. Por último, en el partido de Presidente Perón la cuenca abarca una superficie de 7,8 km^2 equivalente a un 4% del total de la cuenca.

El Anexo I muestra con mayor grado de detalle los arroyos de la subcuenca.

2.4. Análisis poblacional de la Cuenca Sarandí Santo - Domingo

Con el objetivo de poder realizar estimaciones de población, se solicitaron los datos del último censo realizado en el 2010 al INDEC. En la Figura 2.5.b se muestran los partidos y sus localidades que se encuentran dentro de las cuencas de estudio. En la Tabla 2.1 se indican los datos de población de los partidos para el censo 2001 y 2010. Se observa que los partidos con mayor crecimiento son Presidente Perón con un 34,8%, Florencio Varela con un 22,1% y Quilmes con un 12,4%. En cambio, Lanús según datos oficiales solamente creció un 1,4% y Avellaneda un 4,2%. Cabe mencionar que el área del Partido de Presidente Perón que está incluido en la cuenca es muy baja y en una zona de muy baja densidad poblacional.

Históricamente, esta zona expresó su crecimiento a través de la ampliación de las líneas de ferrocarriles. A medida que se iban creando estaciones, a su alrededor se forman pequeñas urbes que lentamente fueron extendiéndose generando el actual gran conglomerado urbano. Las estaciones también hoy son puntos de referencia y dan origen a la mayoría de las denominaciones de las localidades. La Figura 2.4 muestra las líneas de ferrocarriles en la cuenca de estudio junto con sus respectivas estaciones.

Tabla 2.1. Población de los partidos de la cuenca (Fuente: INDEC, 2010)

Partido	Población (2001)	Población (2010)	Variación absoluta	Variación relativa (%)
Almirante Brown	515556	552902	37346	7.2
Avellaneda	328980	342677	13697	4.2
Florencio Varela	348970	426005	77035	22.1
Lanús	453082	459263	6181	1.4
Lomas de Zamora	591345	616279	24934	4.2
Presidente Perón	60191	81141	20950	34.8
Quilmes	518788	582943	64155	12.4
Total	2816912	3061210		

Las Figuras 2.6 a 2.12 y las Tablas 2.2 a 2.8 muestran, respectivamente, las localidades y las poblaciones (totales y estimadas dentro de la cuenca) de los partidos de Almirante Brown, Avellaneda, Florencio Varela, Lanús, Lomas de Zamora, Presidente Perón y Quilmes.

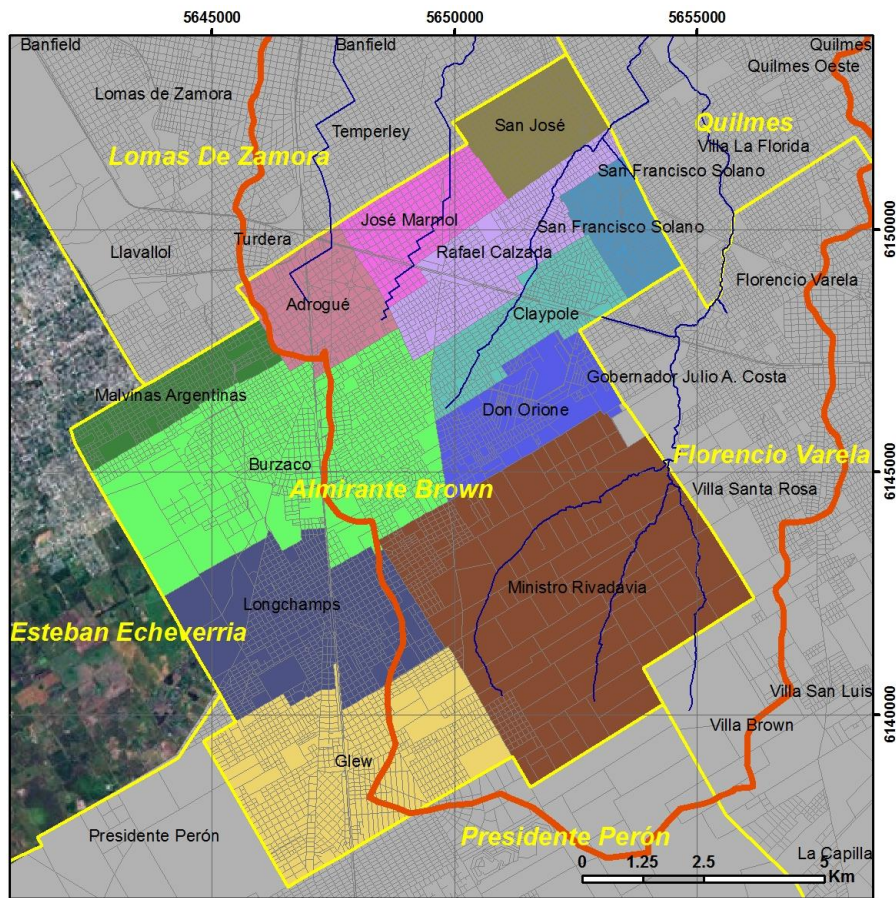


Figura 2.6. Partido de Almirante Brown

Tabla 2.2. Población de las distintas localidades del partido de Almirante Brown (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
José Mármol	44960	44960
Don Orión	45782	45782
Longchamps	50876	4281
Burzaco	87759	29668
Malvinas Argentinas	26080	0
Rafael Calzada	56505	56505
Claypole	47275	47275
Glew	71934	24796
Adrogué	24627	22949
San Francisco Solano	31531	31531
Ministro Rivadavia	19830	19830
San José	45743	45743

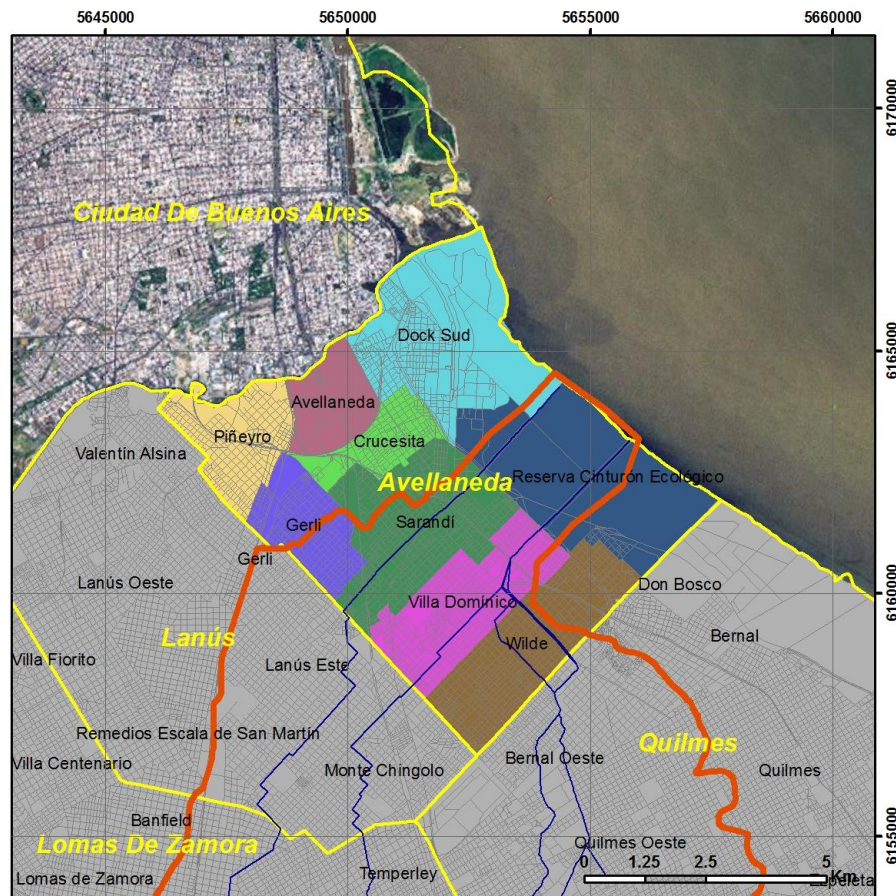


Figura 2.7. Partido de Avellaneda y sus respectivas localidades.

Tabla 2.3. Población de las distintas localidades del partido de Avellaneda (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
Avellaneda	32212	0
Sarandí	66714	47053
Crucesita	14972	0
Wilde	64231	39057
Reserva Cinturón Ecológico	3391	1927
Gerli	30210	11781
Villa Domínica	60096	53567
Piñeyro	27683	0
Dock Sud	43168	813

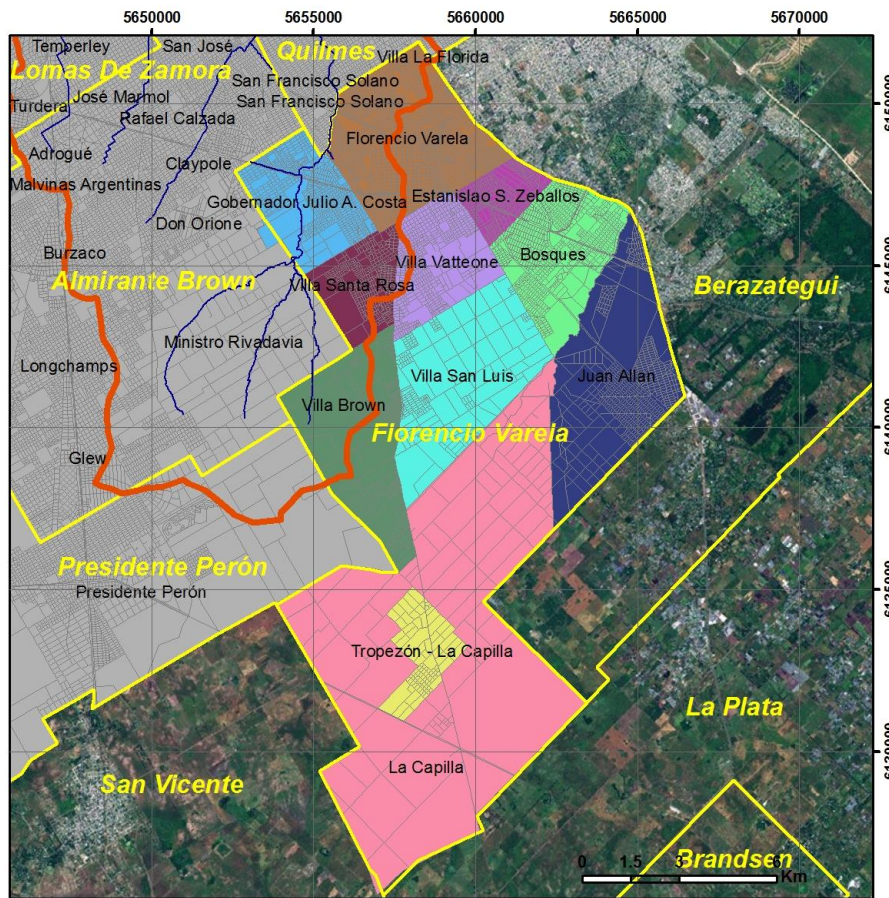


Figura 2.8. Partido de Florencio Varela

Tabla 2.4. Población de las distintas localidades del partido de Florencio Varela (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
Florencio Varela	134298	73180
Juan Allan	39718	0
Villa Santa Rosa	30820	28185
Villa Brown	8028	3686
Tropezón - La Capilla	3707	0
Estanislao S. Zeballos	22913	0
Villa Vatteone	43215	3548
Bosques	61639	0
Gobernador Julio A. Costa	63492	63492
La Capilla	5409	0
Villa San Luis	12766	0

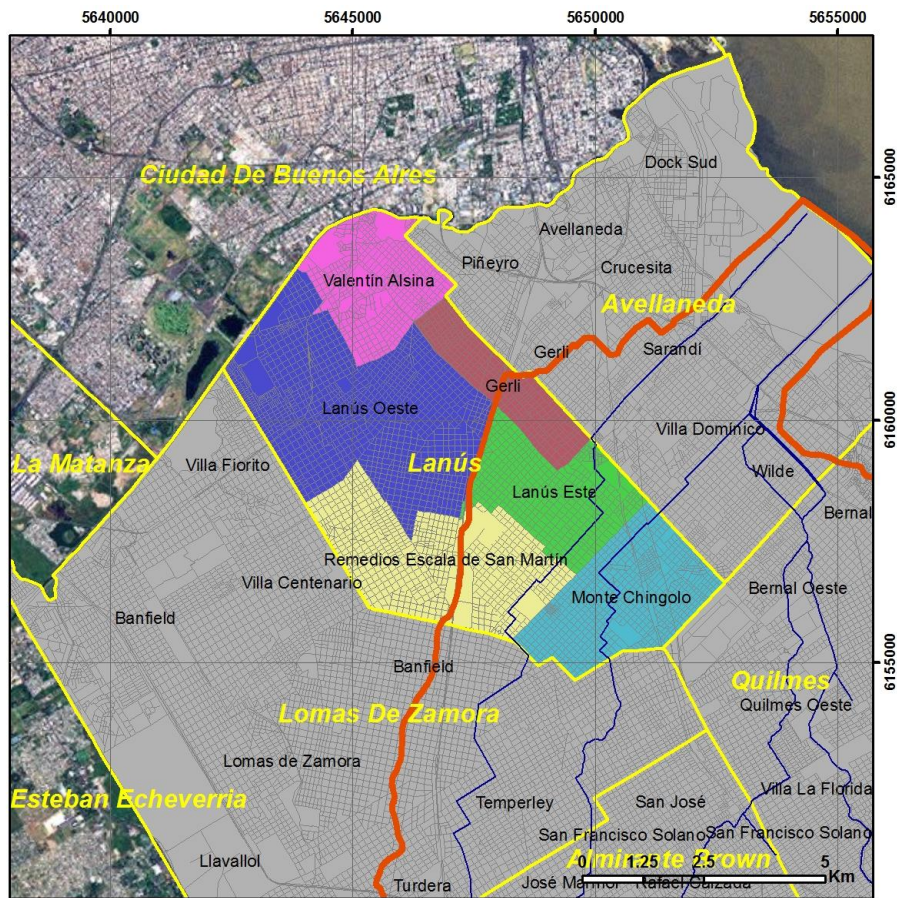


Figura 2.9. Partido de Lanús y sus respectivas localidades.

Tabla 2.5. Población de las distintas localidades del partido de Lanús (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
Remedios Escala	79798	32816
Lanús Este	56141	53701
Valentín Alsina	41514	0
Monte Chingolo	87091	87091
Gerli	34904	17125
Lanús Oeste	159815	0

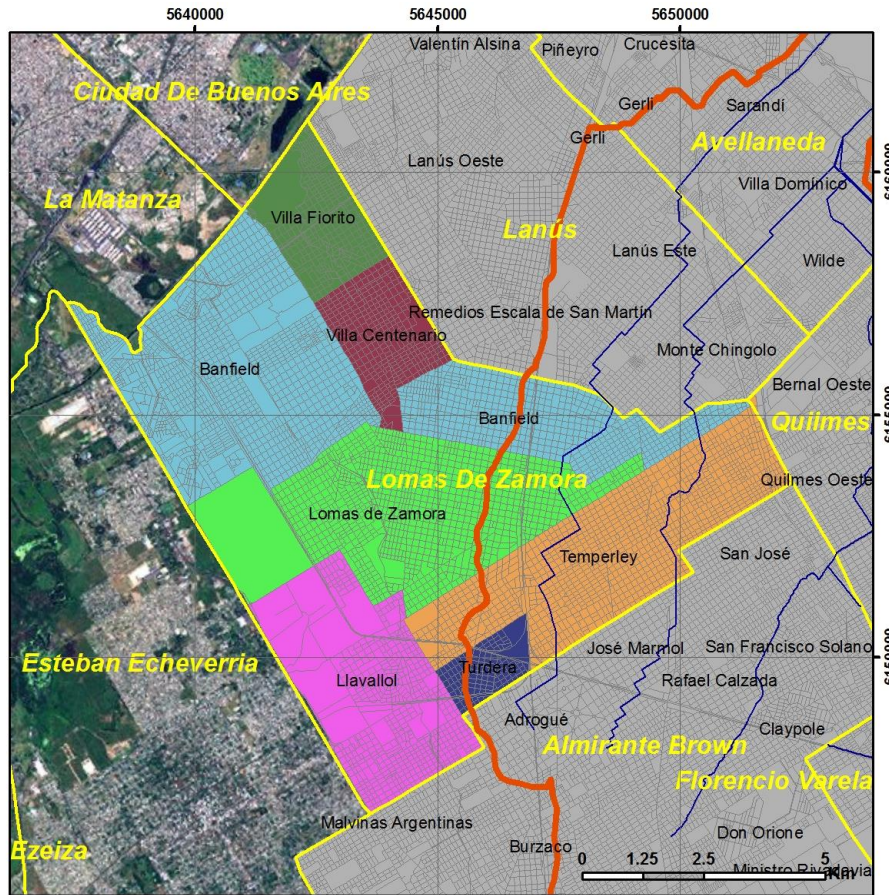


Figura 2.10. Partido de Lomas de Zamora

Tabla 2.6. Población de las distintas localidades del partido de Lomas de Zamora (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
Villa Fiorito	47299	0
Lomas de Zamora	112580	21337
Llavallol	40272	0
Villa Centenario	48857	0
Temperley	111179	98715
Turdera	9625	7057
Banfield	246467	43824

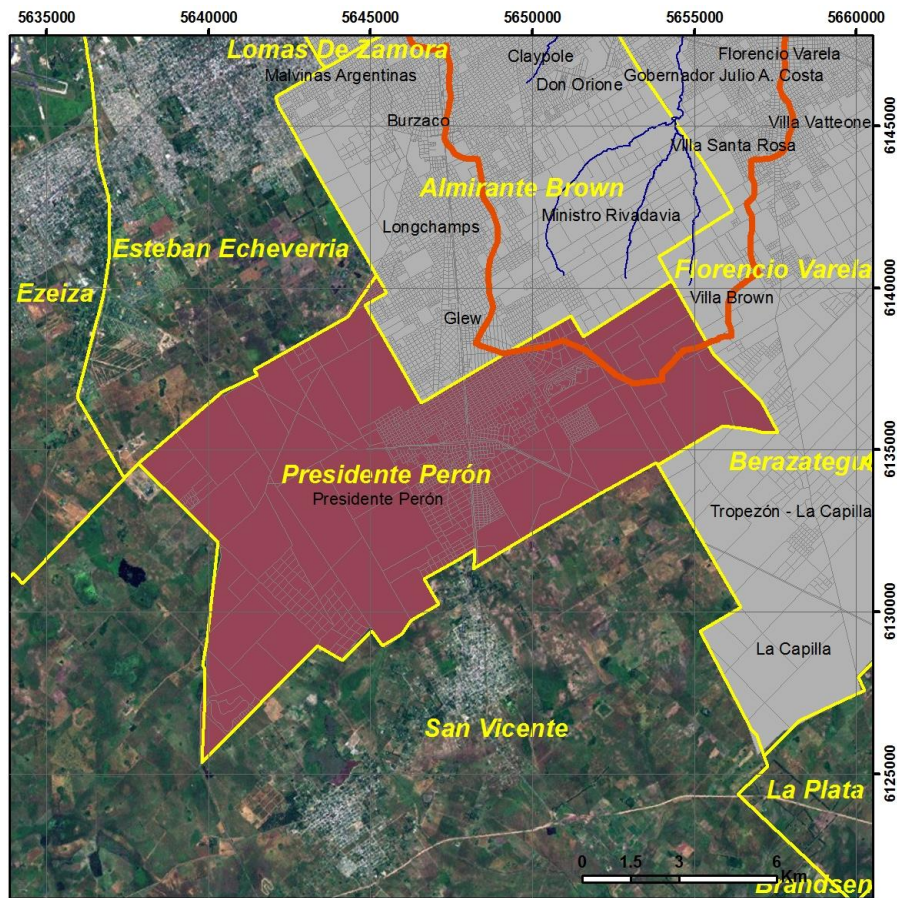


Figura 2.11. Partido Presidente Perón

Tabla 2.7. Población de las distintas localidades del partido de Presidente Perón (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
Presidente Perón	81141	500

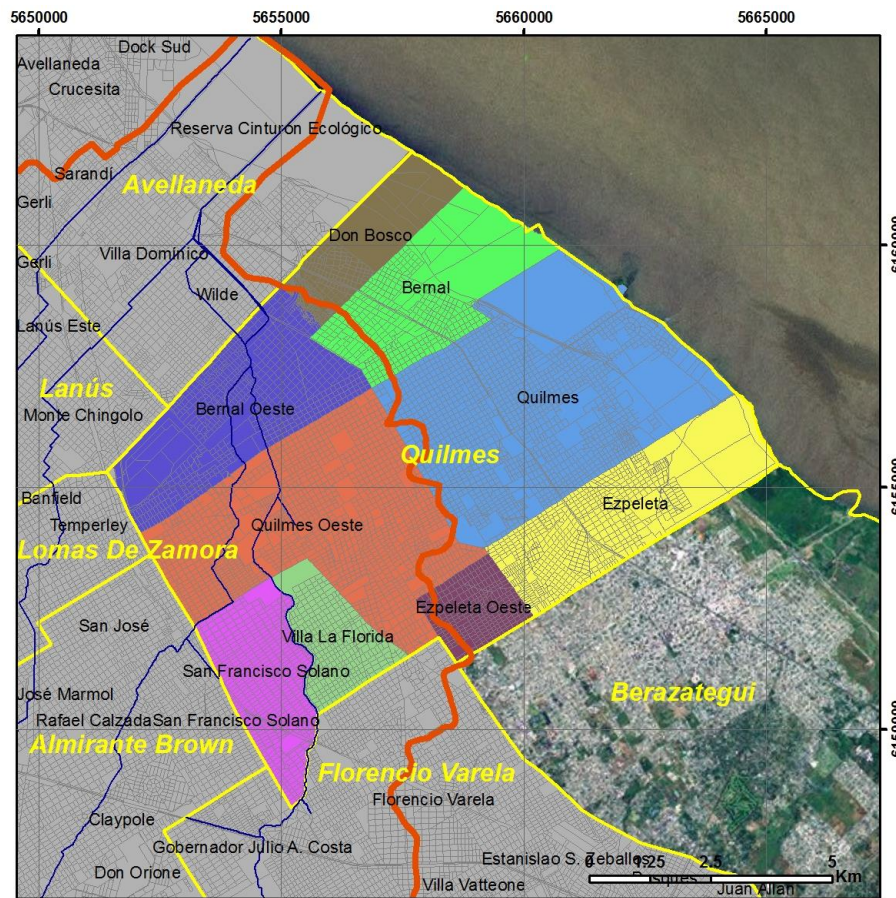


Figura 2.12. Partido de Quilmes

Tabla 2.8. Población de las distintas localidades del partido de Quilmes (INDEC, 2010)

Localidad	Población Total	Población Cuenca
San Francisco Solano	59791	59791
Villa La Florida	35684	35684
Quilmes Oeste	141529	136124
Ezpeleta Oeste	25591	4084
Quilmes	120850	3967
Bernal Oeste	83478	83452
Ezpeleta	59485	0
Don Bosco	23261	1134
Bernal	33274	4014

A modo de resumen, se presentan las Figuras 2.13 y 2.14 donde se vinculan las áreas y población absoluta y relativa de cada partido, y la Tabla 2.9 donde se muestra la población en la cuenca por partido y el total. De esta manera se destacan las incumbencias de cada partido en la cuenca desde los puntos de vista territorial y poblacional. Bajo estos aspectos

los partidos más importantes para la Cuenca Sarandí – Santo Domingo son Almirante Brown y Quilmes.

En la Figura 2.13 se presentan las áreas relativas de cada partido que componen las cuencas de los arroyos Sarandí (SAR) y Santo Domingo (SDO), y todo el sistema (SSD). Se destaca que partidos como Avellaneda, Lanús y Lomas de Zamora se vinculan mayormente con la cuenca del Arroyo Sarandí, mientras que Florencio Varela y Quilmes se relacionan más con el Arroyo Santo Domingo. El área de Presidente Perón es muy pequeña respecto de la de otros partidos, y Almirante Brown participa de ambas cuencas a pesar de tener mayor territorio en la de Santo Domingo. Prácticamente el 50% del área del Sistema Sarandí – Santo Domingo está compuesto por áreas que aportan Almirante Brown (alrededor del 35%) y Quilmes (alrededor del 15%).

En cuanto al aporte poblacional, salvo Presidente Perón cuya población en la cuenca es de varios órdenes de magnitud inferior que el resto de los partidos, todos aportan a la cuenca números significativos de habitantes (Figura 2.14). El 50% de la población de la cuenca lo aportan los partidos de Almirante Brown y Quilmes, aproximadamente en partes iguales.

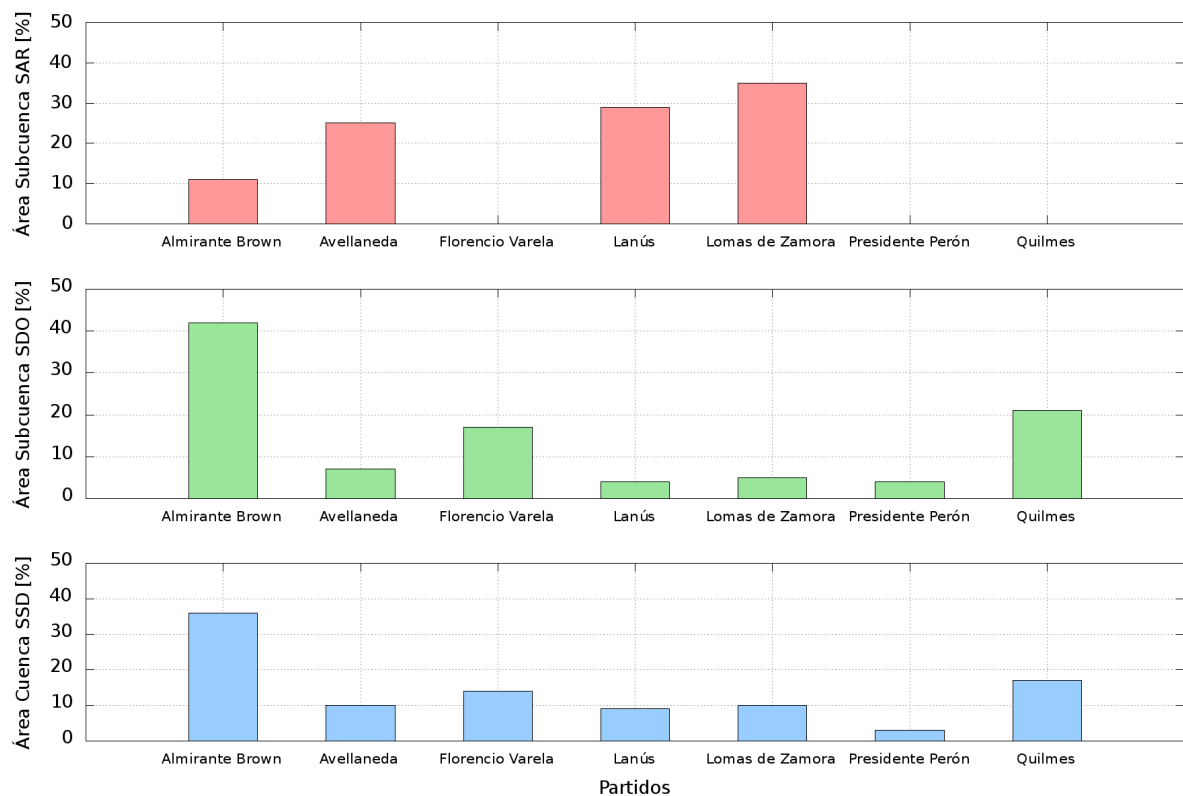


Figura 2.13. Área relativa por partido (SAR: Sarandí, SDO: Santo Domingo, y SSD: Sarandí – Santo Domingo).

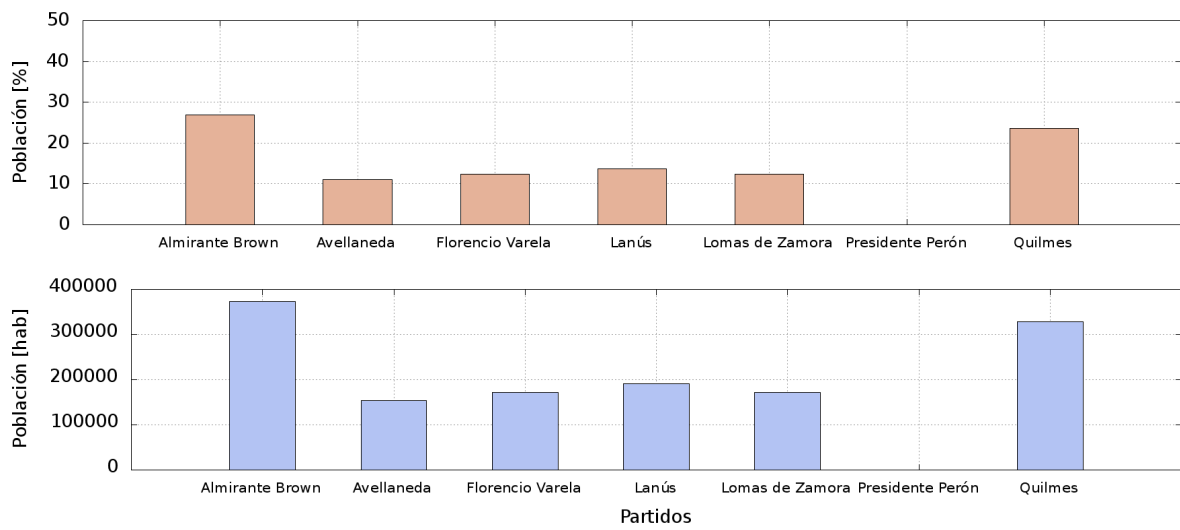


Figura 2.14. Población relativa y absoluta por partido en la cuenca Sarandí – Santo Domingo.

Tabla 2.9. Población de las distintos partidos en la cuenca (INDEC, 2010)

Partidos	Población Cuenca
Almirante Brown	373320
Avellaneda	154198
Florencio Varela	172091
Lanús	190733
Lomas de Zamora	170933
Presidente Perón	500
Quilmes	328250
Total	1390025

3. CLIMATOLOGÍA Y METEOROLOGÍA

3.1. Climatología

3.1.1. Precipitaciones

La precipitación en el SE de Sudamérica es altamente variable espacial y temporalmente, pudiéndose observar distintas tasas de precipitación con diferencias de horas y distantes unos pocos kilómetros en la horizontal. Tanto la variabilidad temporal como espacial están relacionadas con la dinámica general de la atmósfera.

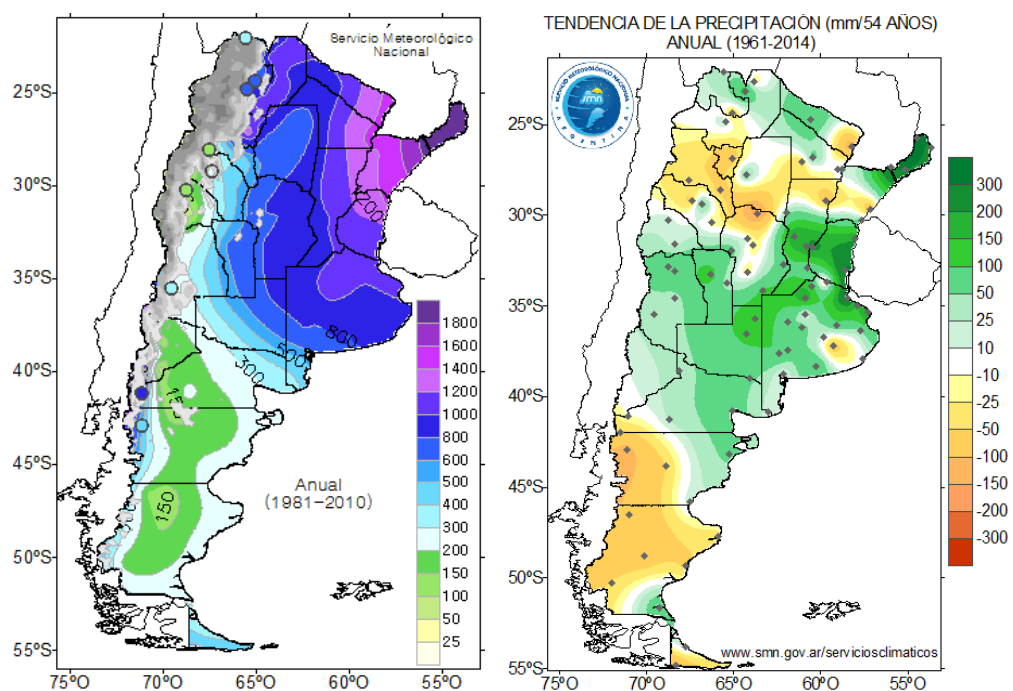


Figura 3.1. Precipitación en la Argentina: a) Media anual (serie 1981-2010). b) Tendencia de la media anual [mm/50 años] (serie 1961-2014) (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/>)

La Argentina presenta un mapa de precipitaciones medias anuales, Figura 3.1.a, en donde se observa un gradiente en aumento de oeste a este, llegando a las isohietas de 1000 mm al noreste de la Provincia de Buenos Aires (cuenca Sarandí – Santo Domingo). En la Figura 3.1.b se muestran las tendencias de precipitación observadas en el período 1961-2010, en donde se ve que la precipitación media anual presenta un aumento en casi todo el país, principalmente en el Litoral, Cuyo, centro y norte del territorio nacional (con igual comportamiento para el verano, el otoño y la primavera, y con una disminución en el invierno en el Litoral y parte del centro del país). En la zona de la cuenca en estudio se ven aumentos del orden de los 100 a 200 mm por año.

La Figura 3.2 muestra la serie de anomalías porcentuales de la precipitación anual en Argentina del período 1961-2014 (Servicios Climáticos, SMN). Este análisis muestra una leve tendencia positiva que implica un aumento de la precipitación del 8.3% en 54 años. Se destacan un extenso período más lluvioso que va desde aproximadamente 1970 hasta 2002, y un período de disminución de la lluvia entre el año 2003 y 2013. Como complemento, en la Figura 3.3 se presentan para la misma serie, los años más lluviosos y los más secos en toda la Argentina, con colores que diferencian las décadas de ocurrencia.

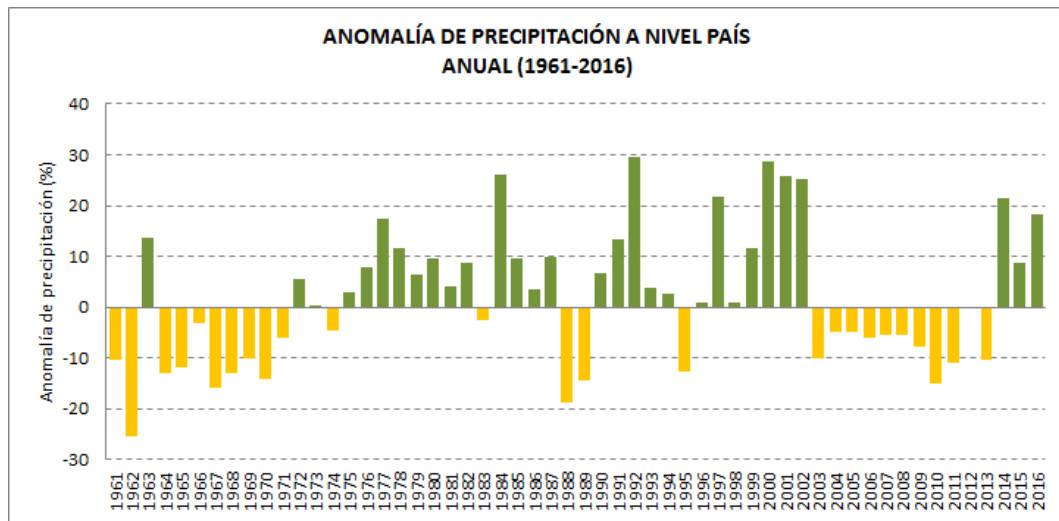


Figura 3.2. Anomalía de la precipitación anual en la Argentina (serie 1961-2016) (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/>)

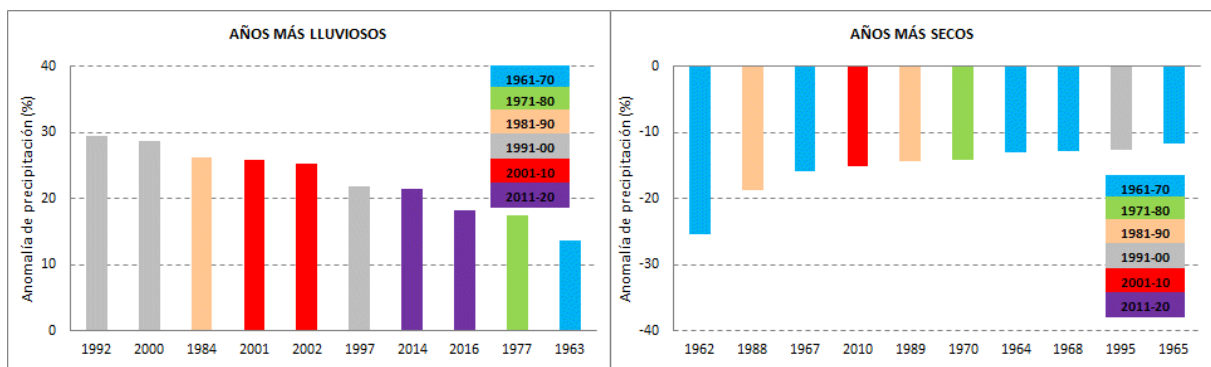


Figura 3.3. Años más lluviosos (izquierda) y años más secos (derecha). (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/>)

Para caracterizar el régimen de precipitación en la Región Metropolitana de Buenos Aires, se cuenta con la información de seis estaciones oficiales de observación de parámetros atmosféricos (gestionadas por el Servicio Meteorológico Nacional, SMN): Ezeiza (Aeropuerto Ministro Pistarini), Castelar, San Miguel, El Palomar, Aeropuerto Jorge Newbery, y Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA, Villa Ortuzar) (Figura 3.4). De estas estaciones, las que resultan más representativas respecto de las características de precipitación en la cuenca Sarandí – Santo Domingo son las estaciones del OCBA, localizada en una zona urbanizada (tipología similar a la de las cuencas media y baja) y Ezeiza en una zona suburbana (similar a la cuenca alta).

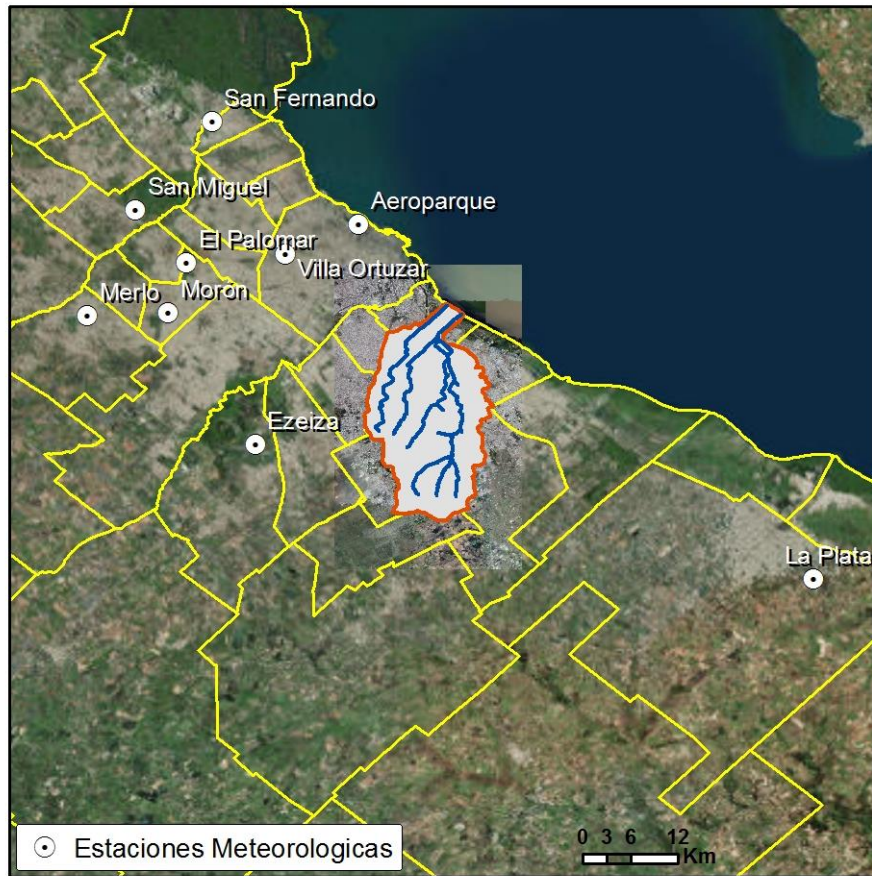
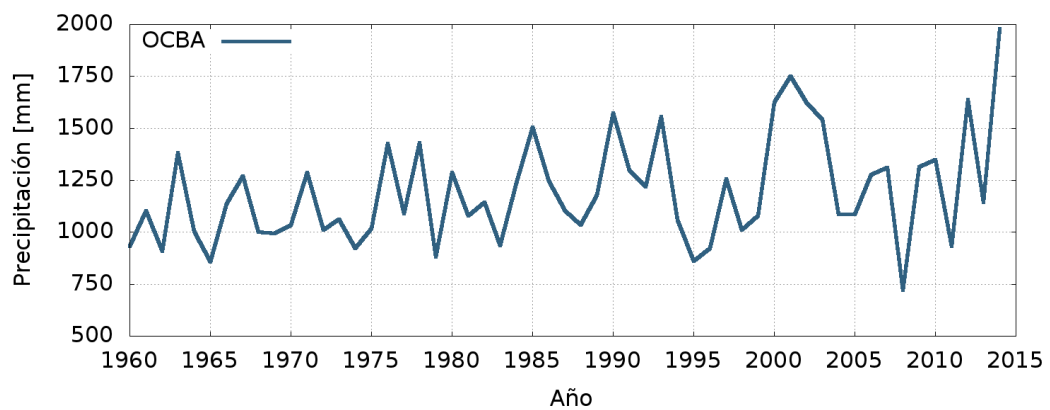


Figura 3.4. Ubicación de las estaciones del SMN en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

A partir de los datos de precipitación de la serie 1960-2014 se tiene que la media anual en el Observatorio Central Buenos Aires (OCBA, Villa Ortuzar) es de 1195 mm, mientras que en Ezeiza es de 1005 mm. En la Figura 3.5 se presentan las series de volúmenes anuales.



a) Observatorio Central Buenos Aires

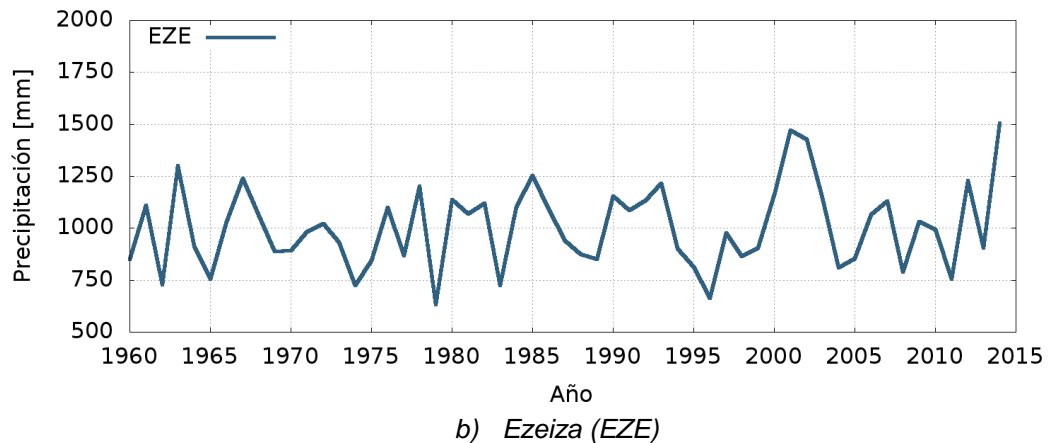


Figura 3.5. Series de precipitación anual: Observatorio Central Buenos Aires y Ezeiza.

La Región Metropolitana de Buenos Aires presenta un clima subtropical templado sin estación seca, donde el mayor acumulado de precipitación se extiende entre los meses de octubre a marzo con promedios mensuales entre 50 y 130 mm (Figura 3.6).

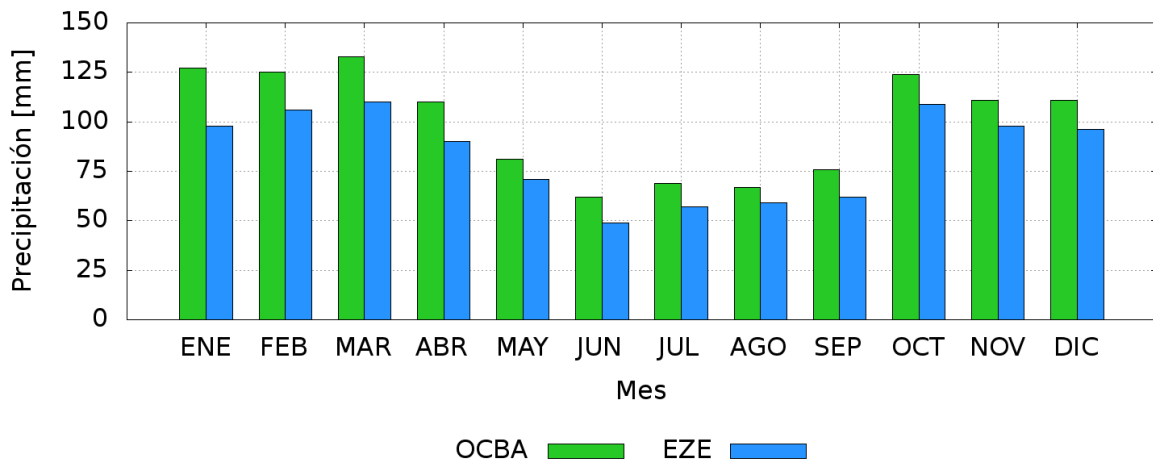


Figura 3.6. Precipitación media mensual en Observatorio Central Buenos Aires (OBS) y Ezeiza (EZE). Serie 1960-2014.

Observando las anomalías de precipitación anual del periodo 1960-2014, se destaca un comportamiento homogéneo en ambas series lo que demuestra una fenomenología similar en la RMBA (Figura 3.7).

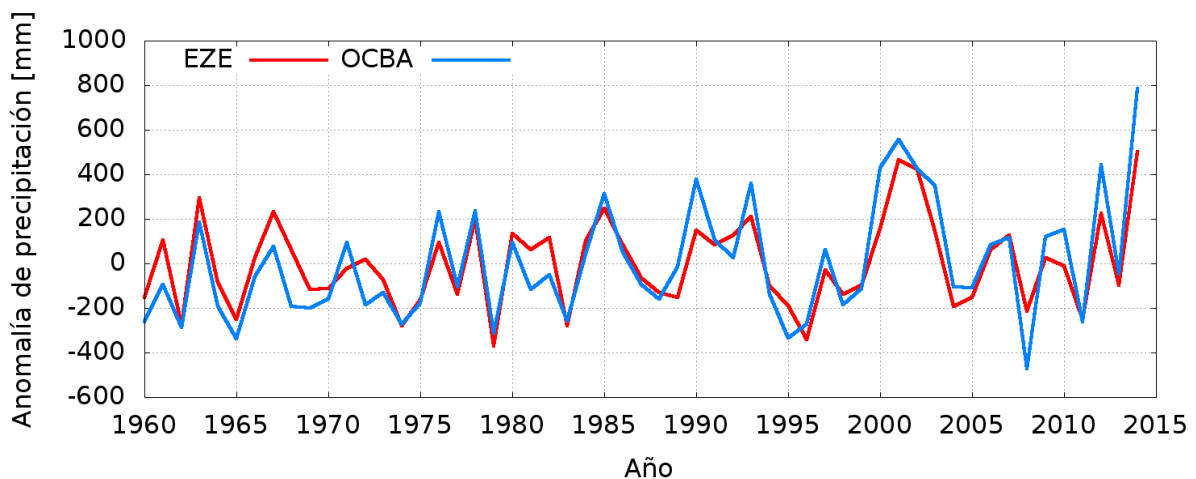


Figura 3.7. Anomalía de precipitación anual para el período 1960-2014.

Analizando las diferencias de precipitación media anual observada en Ezeiza y OCBA, también para el período 1960-2014, se encuentra un patrón con una tendencia positiva. Este efecto podría deberse a la isla de calor que representa la urbanización en torno a la Ciudad de Buenos Aires o a la mayor rugosidad de la zona urbanizada que haría más lento el desplazamiento de los sistemas de tormenta (Figura 3.8).

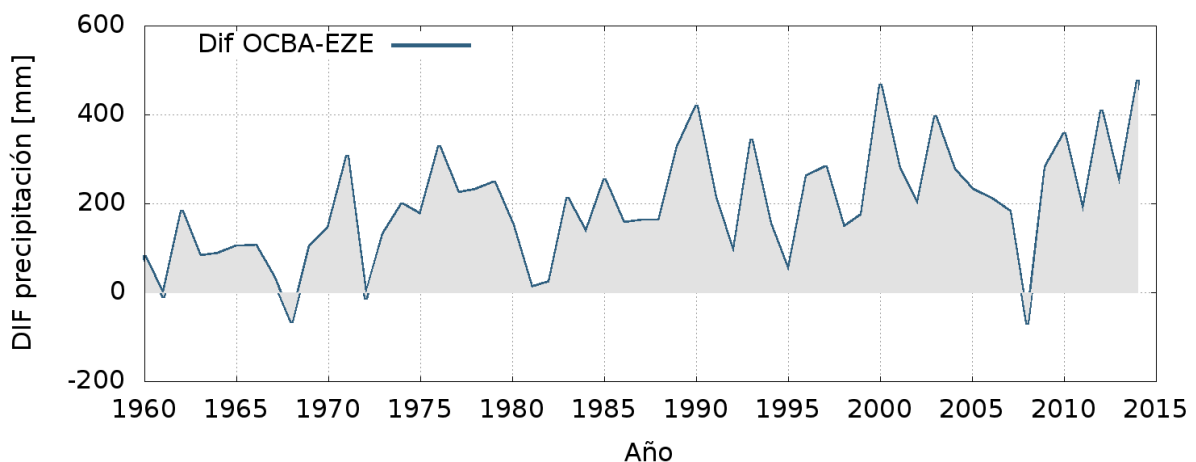


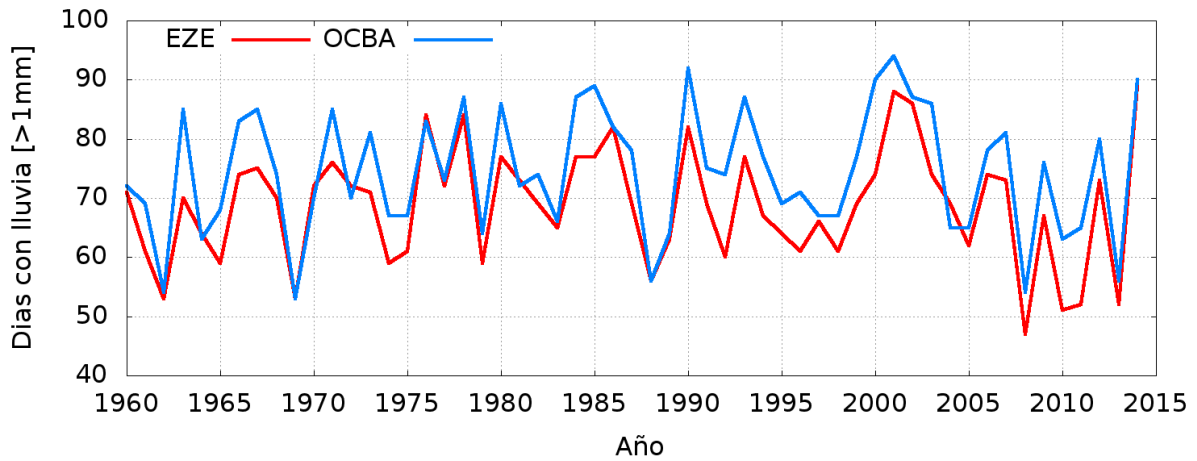
Figura 3.8. Diferencia de precipitación anual (OCBA-EZE) para el período 1960-2014.

La cantidad de días con lluvia por año resulta una variable importante para cuantificar la temporalidad de la amenaza. Existen diferentes criterios, umbral de precipitación, para contabilizar días con lluvia: la existencia de lluvia (precipitación mayor a 1 mm en el día), la caracterización de un día lluvioso (precipitación mayor a 20 mm en el día) y un día muy lluvioso (precipitación mayor a 50 mm en el día). Este último criterio se relaciona con la cantidad de eventos extremos de precipitación extremos que ocurren en la región por año.

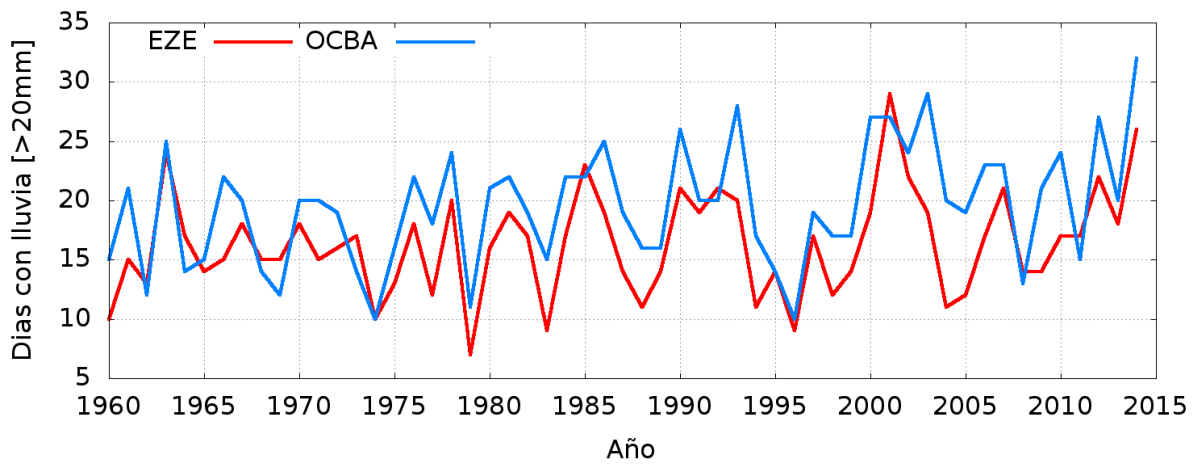
En la Tabla 3.1 se muestra la cantidad de días con lluvia en cada estación según los tres criterios explicitados. En la Figura 4.9 se presentan las series de días con lluvia para ambas estaciones. En todos los casos se encuentra que existen más días con lluvias en la estación OCBA que en Ezeiza.

Tabla 3.1. Días con lluvia en estaciones OCBA y Ezeiza.

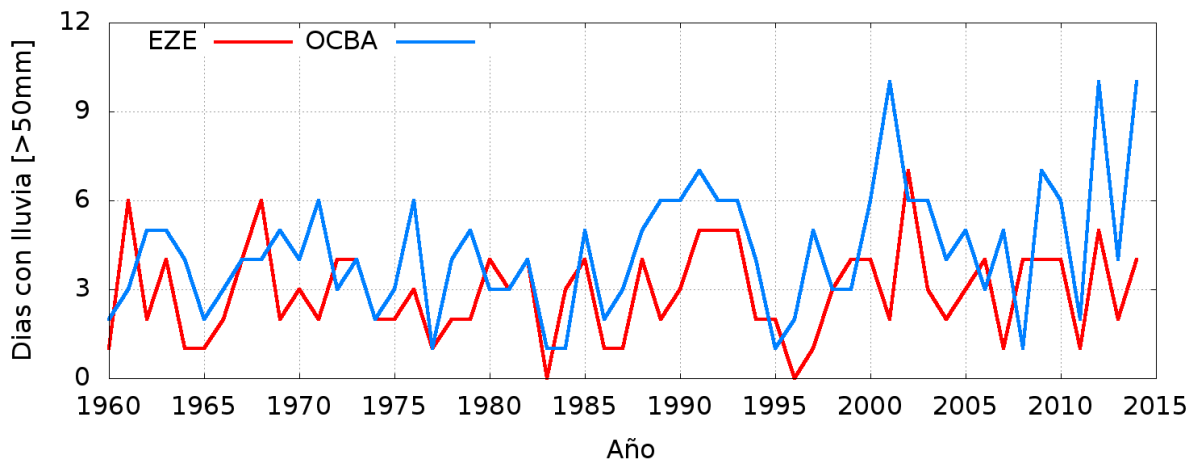
Estación	Precipitación media anual [mm]	DcLL (>1mm)	DcLL (>20mm)	DSLL (>50mm)
OCBA	1195	74	20	4
EZE	1005	69	16	3



a) Días con lluvia (> 1 mm).



b) Días con lluvia (> 20 mm).



c) Días con lluvia (> 50 mm).

Figura 3.9. Cantidad de días con lluvia.

3.1.2. Sudestadas

La sudestada es un fenómeno que se localiza en la región del Río de la Plata y su Frente Marítimo, y está caracterizada por vientos persistentes, regulares a fuertes, del sector SE, que provocan un aumento de nivel en el Río de la Plata. Existen diferentes patrones de la circulación atmosférica baja que causan las sudestadas. La mayoría de ellas están básicamente asociadas con una alta presión al sur del Río de la Plata y una muy profunda baja presión en el norte, que provocan vientos del sector SE. Estos campos de circulación atmosférica baja, forzantes de las sudestadas, son considerados anómalos con respecto a las condiciones medias de la región⁸. En la cuenca Sarandí – Santo Domingo, la presencia de una sudestada impacta directamente en la capacidad de descarga de estos arroyos al Río de la Plata. Además, la onda de tormenta penetra hacia aguas arriba con influencias en la baja cuenca.

Las sudestadas pueden ocurrir, con o sin precipitaciones, en cualquier estación del año (lo hacen con menos frecuencia durante otoño e invierno). El mayor nivel del agua en el Río de la Plata registrado en el Puerto de Buenos Aires fue de 4,44 m MOP, ocurrido el 15 de abril de 1940.

A partir de la serie temporal de valores horarios de nivel del Río de la Plata en la estación Palermo para el período 1989-2013 del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), se realizó un ranking de las sudestadas que alcanzaron niveles más altos y duraciones más largas durante este período (Tablas 3.2 y 3.3).

⁸ Escobar, G., Vargas, W.M., Bischoff, S., 2004. Wind tides in the Río de la Plata estuary: meteorological conditions, *International Journal of Climatology*, 24, 1159–1169.

Tabla 3.2. Sudestadas más importantes del período 1989-2013.

Orden	Fecha	Hora	Nivel [m MOP]
1	12/11/89	15:00	4,07
2	07/02/93	19:00	3,93
3	03/04/93	13:00	3,70
4	30/08/93	18:00	3,70
5	01/09/10	22:00	3,59
6	16/05/00	21:00	3,57
7	20/10/02	05:00	3,51
8	20/08/89	09:00	3,48
9	29/06/99	06:00	3,40
10	15/11/08	21:00	3,34

Tabla 3.3. Análisis de eventos: duraciones por encima del umbral de 2.70 m MOP.

Orden	Fecha (pico)	Duración [hs]
1	30/08/93	29
2	03/04/93	25
3	12/11/89	20
4	15/05/00	18
5	29/06/99	17
6	31/01/05	17
7	01/09/10	16
8	31/08/91	14
9	07/02/93	13
10	16/06/00	13

Para este mismo período se detectaron 70 sudestadas con un criterio basado en que el nivel máximo del evento superara el nivel de 2,70 m MOP. En la Figura 3.10 se muestra su ocurrencia según el mes del año (determinado a partir de la fecha de ocurrencia del pico de la sudestada) encontrándose resultados consistentes con distribuciones presentadas en la literatura⁹, en donde se observa una mayor frecuencia de sudestadas en verano y primavera.

⁹ Escobar, G., Vargas, W.M., Bischoff, S., 2004. Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions, International Journal of Climatology, 24, 1159–1169.

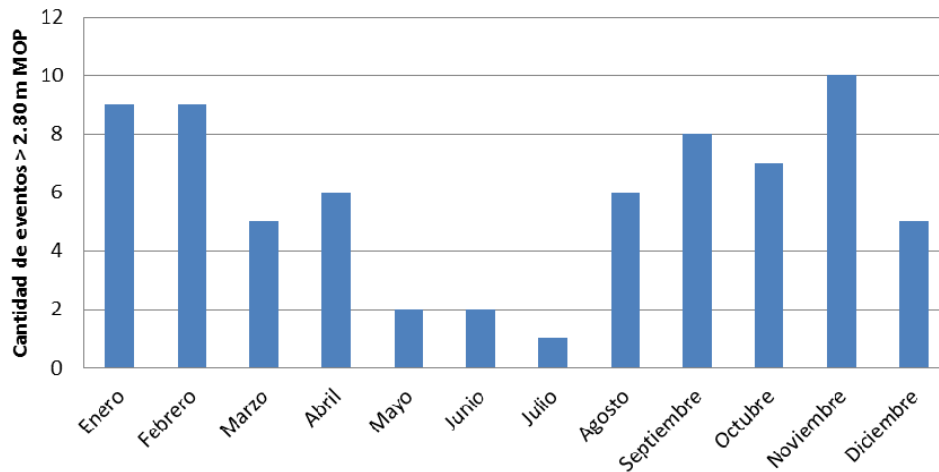


Figura 3.10. Cantidad de sudestadas por mes (período 1989-2013).

3.2. Meteorología

3.2.1. Tormentas extremas significativas

3.2.1.1. Buenos Aires: 30 y 31 de mayo de 1985

Entre el 30 y el 31 de mayo de 1985 se produjo sobre la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores la lluvia más intensa registrada por el SMN en el OCBA. Este fenómeno llegó a totalizar 308 *mm* en 20 horas de precipitación ininterrumpida y ocasionó serios inconvenientes en el desarrollo de las actividades diarias de la ciudad, produciendo pérdidas de vida y diversas afectaciones materiales.

La distribución de la precipitación resultó uniforme. El sistema convectivo en mesoescala que generó un total de más de 300 *mm* de precipitación en Buenos Aires respondió a un tipo de sistema climático que puede esperarse que ocurra con frecuencia en esta región de la Argentina. De la duración total, hubo 5 períodos de 1 hora durante los cuales se registró un exceso de 25 *mm*. La intensidad máxima horaria fue de 42 *mm* y la precipitación total en 20 horas fue de 308 *mm*.

3.2.1.2. La Plata: 2 de abril de 2013

Un sistema de baja presión en niveles medios y altos de la tropósfera, que se desplazaba lentamente desde fines de marzo y cuya intensificación había provocado lluvias importantes en los días previos en la zona central del país, produjo significativas precipitaciones, durante la madrugada del 1 al 2 de abril en Buenos Aires y la zona norte de la RMBA, y luego durante la tarde y noche del 2 de abril en La Plata y alrededores¹⁰. Esta situación meteorológica caracterizada por la formación de ese centro de baja presión que persiste por más de 36 horas se denomina baja segregada. Estos sistemas se presentan con mayor frecuencia durante el otoño y afectan la zona central de Chile y de la Argentina con un promedio de 3 eventos en cada otoño. En particular, en la zona de La Plata se dieron

¹⁰ SMN, 2013. Características meteorológicas del evento de precipitaciones intensas ocurridas el 2 de abril de 2013. Informe técnico.

volúmenes de precipitación extraordinarios produciéndose inundaciones repentinas que ocasionaron pérdidas de vidas humanas y un gran perjuicio socioeconómico.

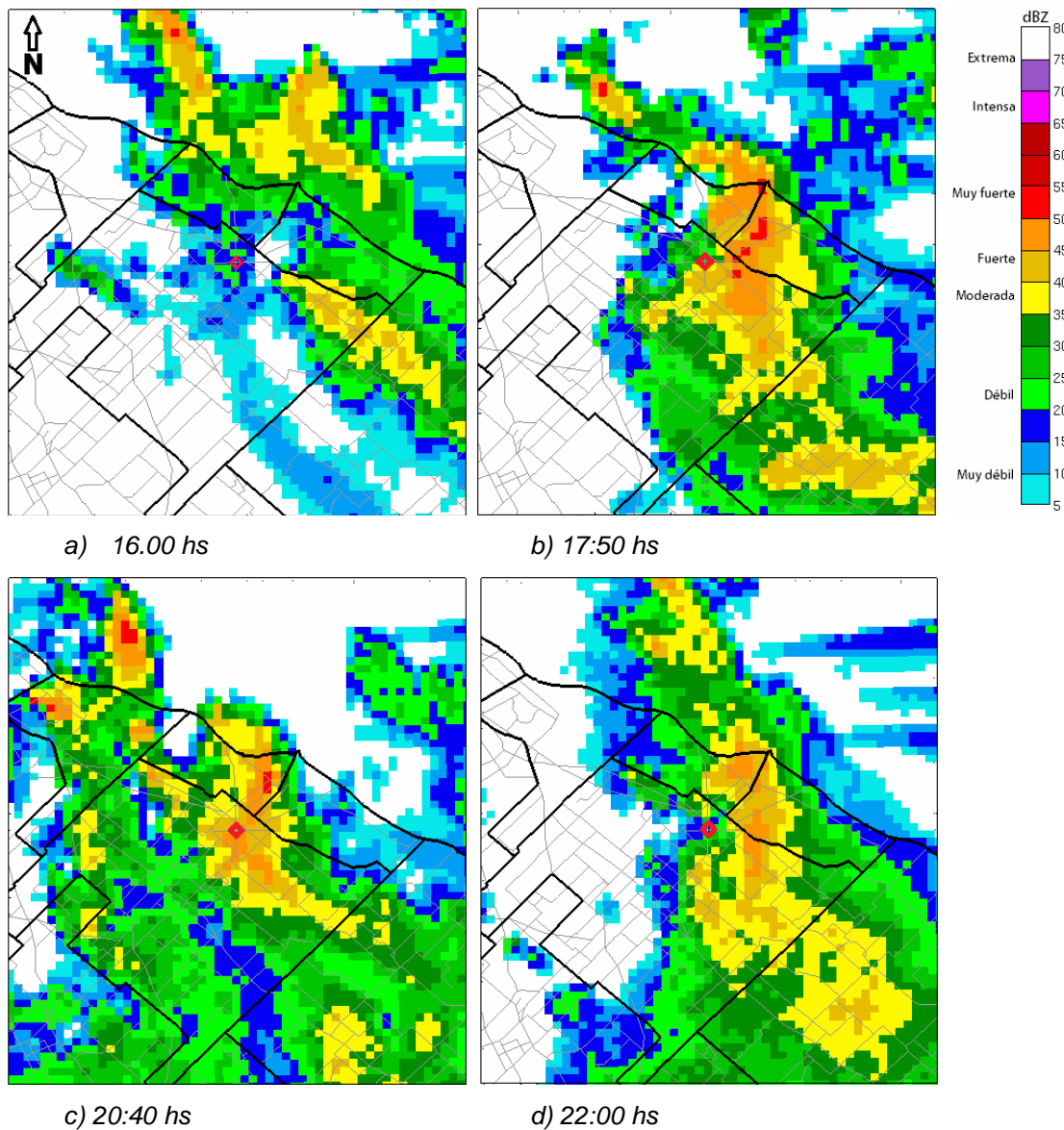


Figura 3.11. Reflectividad medida por el radar meteorológico de Ezeiza a diferentes horas del 2 de abril para La Plata y alrededores (la escala muestra intensidades de precipitación).

En la zona de La Plata, los distintos registros pluviométricos presentan dos momentos de lluvias. Para el primero indican hasta las 09:00 *hs* del 2 de abril que oscilaron entre los 20 y 23 *mm*. Entre las 16:00 *hs* y las 23:00 *hs* se dio la segunda etapa, con mayores intensidades (Figura 3.11), alcanzándose un acumulado de más de 300 *mm*.

3.2.2. Tormentas esperables en la RMBA

Según los registros de precipitación de la serie 1960-2013, las lluvias registradas durante un día meteorológico, en Ezeiza no superan los 130 *mm* y en OCBA los 190 *mm*. En la Tabla 3.4 se presenta un ranking de los días más lluviosos dentro de este período.

Tabla 3.4. Máxima precipitación diaria (día meteorológico; series 1960-2014).

Orden	Ezeiza		OCBA	
	P [mm]	Fecha	P [mm]	Fecha
1	128,0	15/12/1961	188,4	31/05/1985
2	125,5	13/12/1968	172,7	24/01/1974
3	124,5	10/10/1967	159,0	01/04/2013
4	120,3	23/05/2010	145,5	24/01/2001
5	115,6	01/04/2013	142,0	08/04/1989
6	113,7	22/03/1988	132,0	28/10/2014
7	109,5	31/05/1985	124,1	13/12/1968
8	105,9	30/05/1985	122,0	06/12/2012
9	105,0	16/04/2002	120,1	30/05/1985
10	102,0	05/02/1964	119,5	16/04/2002

Salvo el caso de tormentas de excepción, como la de Buenos Aires de 1985 y La Plata de 2013, los eventos extremos de precipitación esperables en la RMBA superarían un volumen total de 100 mm y se mantendrían por debajo de los 200 mm. Lo significativamente distinto en este tipo de eventos podrían ser las intensidades horarias de precipitación. La Figura 3.12 ilustra las diferentes intensidades que se dieron en dos tormentas que acumularon más de 300 mm en 20 horas.

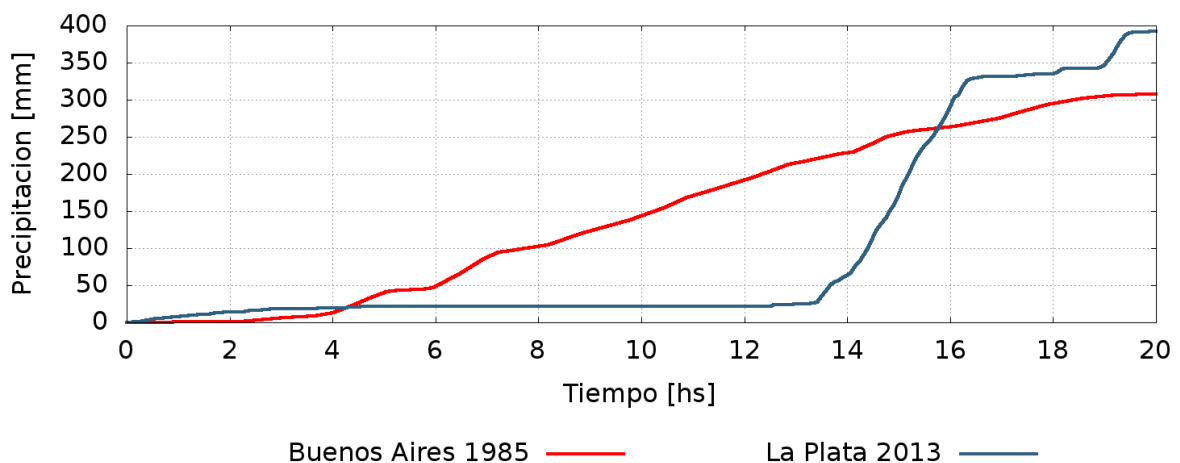


Figura 3

Figura 3.12. Precipitación acumulada de las tormentas de Buenos Aires (1985) y La Plata (2013).

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO

4.1. Software EPA-SWMM

La modelación hidrológica – hidráulica de las Cuencas Sarandí – Santo Domingo se realizó a través del software SWMM (*Environmental Protection Agency, EEUU - Storm Water Management Model*). Este software permite la simulación dinámica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía, utilizado para realizar simulaciones de eventos o continuas, calculando la cantidad y la calidad de escorrentía, principalmente en cuencas urbanas¹¹. El código es ampliamente usado para la planificación, análisis y diseño de sistemas de drenaje urbanos.

El código del SWMM está estructurado en tres módulos que interactúan para representar el comportamiento del sistema hídrico. Estos módulos y sus correspondientes funciones son:

- El Módulo de Escorrentía (RUNOFF) funciona con una serie de pequeñas subcuencas uniformes en las cuales ocurre la precipitación y se genera la escorrentía.
- El Módulo de Transporte (EXTRAN) analiza el recorrido del agua a través de un sistema compuesto por tuberías, canales a cielo abierto, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.
- El Módulo de Calidad del Agua permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal durante una simulación

Se utilizó la versión SWMM5, que ha modernizado tanto el código numérico, originalmente escrito en 1971¹², como la interfaz gráfica de usuario, que permite visualizar los datos de entrada y los principales resultados del modelo.

El software SWMM puede resolver las ecuaciones de transporte de una manera completamente dinámica. Este tratamiento permite resolver fenómenos como la acumulación del fluido en puntos bajos, la aparición de remansos, el trasvase entre cuencas vecinas o el flujo a presión.

¹¹ Rossman, L.A., 2009. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

¹² Metcalf y Eddy, Inc., 1971. University of Florida, Water Resources Engineers, Inc. "Storm Water Management Model, Volume I – Final Report", 11024DOC07/71, Water Quality Office, Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Un modelo SWMM está constituido por una serie de elementos interconectados, que representan individualmente partes del sistema hidrológico. A continuación se describen brevemente los principales componentes disponibles:

- **Pluviómetros:** Indican la serie intensidades de precipitaciones a lo largo del tiempo en una determinada zona. En este trabajo se utilizaron datos espaciales para generar un pluviómetro representativo para cada subcuenca.
- **Subcuencas:** Son unidades de terreno cuya topografía y sistema menor de drenaje dirigen la escorrentía hacia un punto único. Las subcuencas en SWMM cuentan con una fracción impermeable y una permeable. Para estas últimas pueden seleccionarse distintos modelos de infiltración, incluyendo el modelo de Horton, Green-Ampt y Curva Número. Los parámetros que deben asignarse a cada subcuenca incluyen el nodo de descarga, la pendiente media, porcentaje de impermeabilidad, y tanto para la zona impermeable como para la permeable los coeficientes de Manning y el almacenamiento en depresiones.
- **Nodos:** Los nodos representan los puntos de descargas de las subcuencas, así como la intersección de dos o más conducciones. Físicamente pueden representar las esquinas del trazado urbano, la unión de canales o conductos, las bocas de acceso al sistema pluvial, etc. Típicamente en los nodos superficiales o conectados con la superficie puede acumularse agua sobre el terreno durante un evento de precipitación, por lo que es necesario indicar en cada nodo tanto la cota de terreno como la superficie inundable en función del nivel.
- **Conducciones:** Son conductos o canales que permiten el escurrimiento de agua entre nodos. Dentro del SWMM, tanto las calles como los arroyos y canales a cielo abierto se consideran canales, con secciones bien diferenciadas. Los principales conductos pluviales y arroyos entubados son también conducciones, que pueden escurrir a superficie libre o a presión. Las conducciones tienen asociada una longitud y sección, así como un parámetro de rugosidad de Manning. Estas últimas pueden definirse como una serie de progresivas laterales y elevaciones, por lo que existe la flexibilidad para definir cualquier forma necesaria. También existen diversos tipos de secciones estándar parametrizadas. Es necesario para cada conducción especificar el nivel de fondo respecto del terreno en ambos nodos extremos.
- **Orificios y Vertederos:** Al igual que las conducciones, los orificios y vertederos permiten el escurrimiento entre dos nodos, pero el caudal resultante en ambos casos depende exclusivamente de las elevaciones en ambos nodos, aplicando la ley de orificio o vertedero según corresponda. Este tipo de conexiones son útiles para representar, por ejemplo, los sumideros que conectan las esquinas con el sistema de drenaje subterráneo. Es necesario para cada uno especificar una sección así como un coeficiente de gasto.

4.2. Preprocesador *ConuPy 1.0*

Dada el tamaño y la complejidad de la zona de estudio se optó por desarrollar una metodología mayormente automática para la implementación de un modelo con SWMM a partir de información básica. A ese efecto se desarrolló especialmente el software *ConuPy 1.0*.

ConuPy 1.0 es una colección de rutinas que permiten captar información geográfica desarrollada en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) y construir de manera automática el esquema discreto para la modelación en EPA-SWMM, incluyendo la red de subcuencas, nodos y conexiones superficiales y subterráneas. Este está escrito en *Python 2.5* y utiliza la interfaz de *ArcObjects* para automatizar algunos procesamientos en *ArcMap*. De esta manera *ConuPy 1.0* permite al modelador de abstraerse del formato de ingreso de datos del SWMM, y armar los elementos a representar dentro de la relativa comodidad de *ArcGIS*. Para el presente estudio, *ConuPy 1.0* permitió, entre otras cosas, representar la red completa de calles existente en la cuenca, sin necesidad de imponer simplificaciones a priori.

La información básica utilizada por el software, así como el formato en que es leída, se detalla a continuación:

- **Red de arroyos a cielo abierto y entubados:** En formato *shape* de líneas. Esta información incluye todos los tramos a modelar, cada uno de los cuales con propiedades asociadas, que indican si son superficiales o entubados, así como su ancho y alto. Los conductos se consideraron en primera aproximación de sección rectangular equivalente, y colocados paralelos al terreno con una tapada constante de 0.3 m. Para los arroyos y canales superficiales se adoptó una sección trapezoidal, con un ancho superficial y profundidad estimadas de fotos e imágenes satelitales.
- **Red de calles:** En formato *shape* de líneas. En este caso cada filamento representa una cuadra entre dos esquinas, así como información de su ancho.
- **Modelo digital del terreno:** *Raster* en formato *grid*. Indica la elevación del terreno en cada punto.
- **Cuenca de análisis:** En formato *shape* de polígonos. Se utiliza para limitar la extensión de las subcuencas.
- **Mapa de precipitaciones:** *Raster* en formato *grid*. Indica la relación entre la precipitación en un punto y la máxima en la cuenca.
- **Mapa de impermeabilidad:** *Raster* en formato *grid*. Indica el porcentaje del terreno que es permeable.
- **Mapa de pendientes:** *Raster* en formato *grid*. Indica las pendientes medias del escurrimiento.
- **Puntos de salida:** En formato *shape* de puntos. Se definen los puntos por los que se permite la salida de agua del modelo, típicamente en el borde de agua debajo de la cuenca.

Las principales etapas del algoritmo de generación del *ConuPy 1.0* se esbozan a continuación:

- **Generación de los nodos y tramos de arroyos y conductos.** El software lee el *shape* de arroyos y conductos. Se crean nodos a lo largo de los cursos y se unen con tramos cuya sección depende del alto y ancho especificado para el tramo y de si está o no entubado. Los extremos de cada arroyo se conectan a nodos intermedios de otros arroyos si están próximos. Los nodos a los que solo llegan tramos entubados se consideran subterráneos.

- **Generación de los nodos esquina y de los tramos calles.** Se lee cada cuadra del archivo *shape*. Cada cuadra se conecta a nodos esquinas ubicadas en sus extremos. Si una calle atraviesa un tramo arroyo, la calle se divide en dos semi-tramos que se conectan al nodo arroyo. Se genera para cada ancho de calle una sección transversal con la forma de la calzada (altura de cordón de 0.2 m, ancho de vereda de 2 m).
- **Generación de los sumideros.** Los nodos esquina ubicados a menos de 80 m de un nodo subterráneo se conectan al este mediante un orificio, con dimensiones representativas de un sumidero (altura de 0.15 m, ancho de 2 m, coeficiente de gasto de 0.6).
- **Generación de las subcuencas.** Todos los nodos superficiales, ya sean que pertenezcan a arroyos o esquinas se consideran puntos de descargas de subcuencas. Dada la gran cantidad de subcuencas en la zona de estudio, la forma de las subcuencas se definió con un criterio de proximidad, construyéndolas como polígonos de Thiessen centrados en los nodos superficiales. Estos polígonos se recortan al contorno de la cuenca de estudio y se les calcula el área.
- **Muestreo de las propiedades de los nodos y subcuencas.** Los *rasters* de entrada se muestrean en cada nodo. Las propiedades medias de cada subcuenca se consideran iguales a las muestreadas en su nodo central.
- **Generación de las series de precipitación y asignación a cada subcuenca.** Se generan 20 series de precipitación escalando la serie máxima de la cuenca con coeficientes de entre 0 y 100%, a intervalos de 5%. Luego, en función del mapa de precipitaciones, muestreado en cada centro de subcuenca, se asigna a cada una la serie correspondiente.
- **Generación de nodos de salida.** Se leen los puntos de salida, y allí se crean nodos *outfalls* de salida para el SWMM. Todos los nodos cercanos se conectan a estos nodos *outfalls* para establecer condiciones de borde de salida.
- **Generación del archivo de entrada para el SWMM.** Se genera finalmente el archivo de entrada para el SWMM, que contiene toda la información generada en un formato apropiado para su lectura.

4.3. Datos de entrada del modelo

4.3.1. Red de arroyos y conductos

Debido a la extensa red de arroyos y conductos existentes en el área de modelación, se tomó la decisión de incluir únicamente los principales en base a la hipótesis de que en un evento extremo, como ser la tormenta ocurrida en La Plata el 2 de abril de 2013, los conductos de escasas dimensiones entrarían en carga rápidamente y jugarían un rol de segundo orden.

En la Figura 4.1 se pueden apreciar en color marrón los arroyos a cielo abierto y en azul los conductos entubados. Las características de cada tramo (descriptas en el Anexo I), fueron ingresadas en un *shape* de líneas con los siguientes campos:

- Id (identificación)
- Nombre
- Tipo (canal o arroyo a cielo abierto o entubado)
- Sección
- Alto
- Ancho
- Coeficiente de rugosidad del cauce (*n de Manning*)
- Observaciones

4.3.2. Red de calles

Se utilizó como punto de partida la información provista por la Subsecretaría de Coordinación Económica del Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires¹³. Los *shapes* de línea están divididos por cuadra e intersecciones y se encuentran en proyección POSGAR 1994 Faja 5 de Argentina, conteniendo la siguiente información:

- Ancho
- Nombre
- Número Inicial Izquierda
- Número Final Izquierda
- Número Inicial Derecha
- Número Final Derecha

Los datos de la red de calles está agrupada por partidos, por tal motivo, en el límite de los mismos se encuentra duplicada la información debiéndose efectuar un trabajo de limpieza y reordenado de las calles. También se procesaron los datos originales para eliminar todas las calles que no pertenecen a la cuenca, así como para corregir algunas avenidas que se encontraban representadas como filamentos distintos para cada sentido de circulación. El total de tramos utilizados es de 33054.

Las líneas del *shape* que indican cursos de agua, ferrocarril o alambrados tenían inicialmente ancho nulo. De esta forma, en el programa *ConuPy 1.0* estas líneas no se consideran en ningún sentido.

La Figura 4.2 muestra la red de calles utilizadas en la modelación.

¹³ <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/censo2010/cartografia.html>

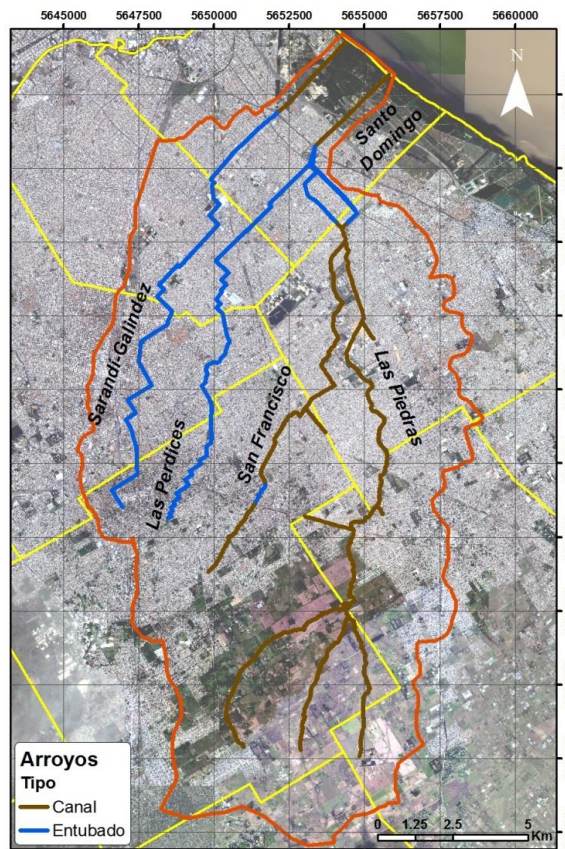


Figura 4.1. Detalle de Arroyos a cielo abierto. (líneas marrones) y entubados (líneas azules)

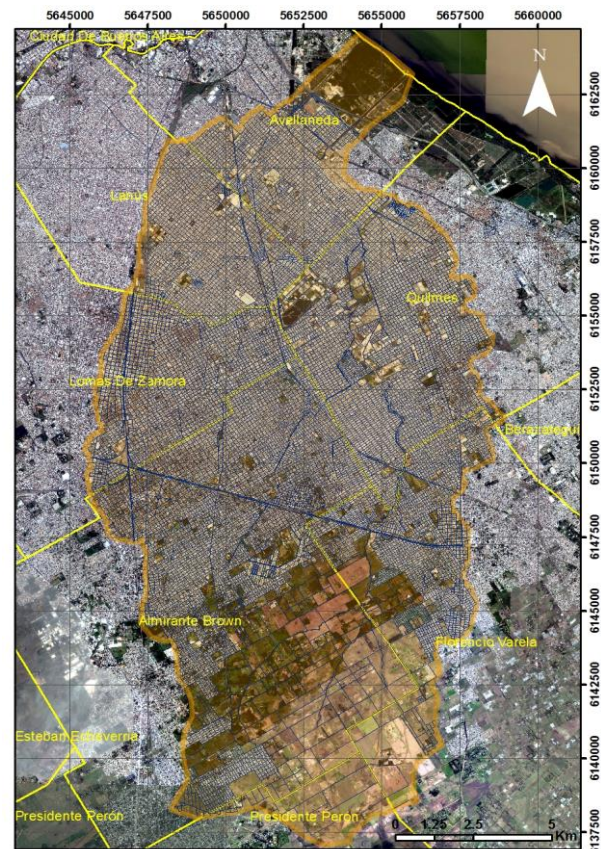


Figura 4.2. Mapa con las calles utilizadas en la modelación.

4.3.3. Modelo Digital del Terreno

El modelo digital del terreno (MDT) se confeccionó a partir de la digitalización de las curvas de nivel de las cartas del IGN (Instituto Geográfico Nacional), utilizadas para generar una superficie TIN (Red Irregular de Triángulos, *Triangulated Irregular Network*) la cual fue llevada posteriormente a formato *raster* con un tamaño de celda de 20 m. En la Figuras 4.3 y 4.4 se presentan, respectivamente, las curvas de nivel y el modelo digital del terreno. Se destaca en primera instancia las bajas alturas existentes en la zona de Quilmes Oeste y la dificultad para delimitar la división de la cuenca en estudio y la del Matanza-Riachuelo. El límite noroeste de la cuenca no está definido por cuestiones naturales sino por el terraplén del Ferrocarril Roca (Figura 1.4).

4.3.4. Uso del suelo

A partir de la interpretación de imágenes satelitales de la aplicación *Google Earth*, se definió una zona urbana y otra rural, tal como se muestra en la Figura 4.5

4.4. Módulo de Escorrentía

El módulo de escorrentía (o módulo hidrológico) funciona con una serie de superficies, tratadas como depósitos no lineales, las cuales al ser sometidas a un evento de precipitación generan excedentes superficiales. Para la determinación de los excedentes superficiales se adoptó el método de infiltración de Horton, con tasas máximas y mínimas de 50 *mm/hr* y 5 *mm/hr*, respectivamente y un coeficiente de decaimiento de 2 *1/hr*. Estos valores fueron los mismos con los que se calibró el modelo de La Plata¹⁴. La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de los sectores permeables, pero no a través de los impermeables. El flujo de escorrentía desde un sector de la cuenca puede fluir hacia otro sector, o ambos pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

4.5. Módulo Transporte

Para el módulo de transporte (o módulo hidráulico), ante la faltante de datos de las conducciones y teniendo en cuenta que se trata de una gran área de estudio, se consideraron los conductos subterráneos con sección rectangular equivalente a lo informado por distintas entidades. La tapada mínima adoptada fue de 0,30 *m* y se realizó un perfilado manual de las conducciones evitando generar pendientes negativas. El coeficiente de rugosidad *n de Manning* adoptado fue de 0,040. Las conducciones secundarias (menores a 1 *m* de diámetro) no se modelaron, tomando como hipótesis que ante un evento extraordinario no tienen un gran efecto en la sensibilidad de los resultados. Los arroyos fueron representados con secciones trapeciales, a partir del análisis de imágenes satelitales y fotografías del lugar. En las calles, se adoptó una sección transversal con la forma de la calzada (altura del cordón de 0,20 *m*, ancho de vereda de 2 *m*, y mayor altura en el centro de la calle). Los sumideros adoptados tienen una altura de 0,15 *m*, ancho de 2 *m* y un coeficiente de gasto de 0,60. No se realizaron tratamientos especiales por los puentes, autopistas o ferrocarriles considerándose sus impactos como de segundo orden (en una primera aproximación).

4.6. Elementos modelados

El modelo quedó finalmente conformado por los siguientes elementos:

- 18.183 subcuencas.
- 18.649 nodos entre los cuales se destacan, nodos de calle, nodos de arroyo, nodos de la red de desagües pluviales, nodos de almacenamiento en manzana.
- 2 nodos de salida.
- 30.798 conducciones totales: conductos de calle, conductos de la red de desagües, secciones transversales irregulares de arroyo.

¹⁴ Universidad Nacional de La Plata, 2013. Estudio sobre la inundación del 2 y 3 de abril en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. La Plata. Argentina. Mayo del 2013. (http://www.ing.unlp.edu.ar/institucional/difusion/2013/inundacion_informe)

- 553 bocas de tormenta.
- 481 vertederos de calle a arroyo.

Se resalta la gran cantidad de conducciones (calles en su mayoría) teniendo en cuenta que no forman parte del modelo las conducciones secundarias de la red pluvial.

Vale aclarar que el modelo fue concebido para analizar crecidas extraordinarias, no para eventos de alta probabilidad de ocurrencia, por ende es muy complejo realizar una calibración del mismo. Se espera poder realizar una calibración y validación en etapas posteriores con lluvias de gran magnitud que provocaron inundaciones significativas en la zona.

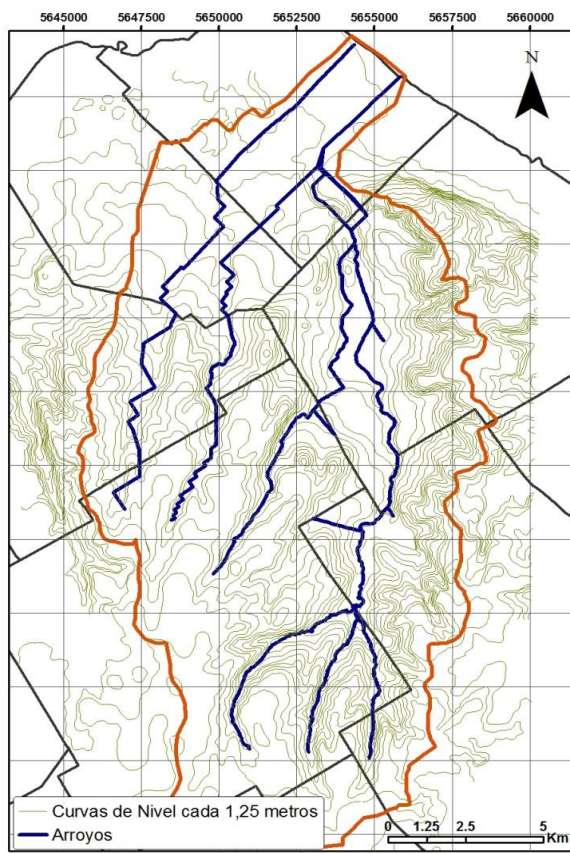


Figura 4.3. Curvas de nivel del IGN.

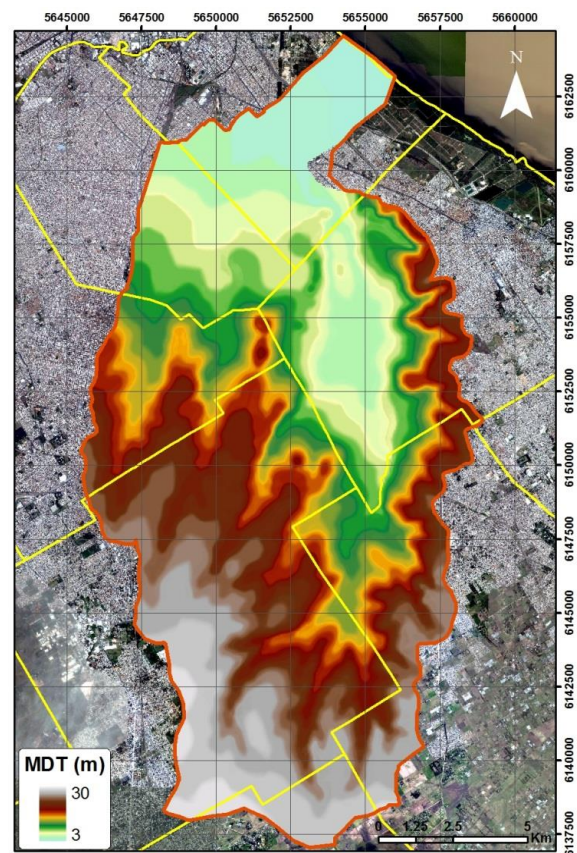


Figura 4.4. Modelo digital del terreno.

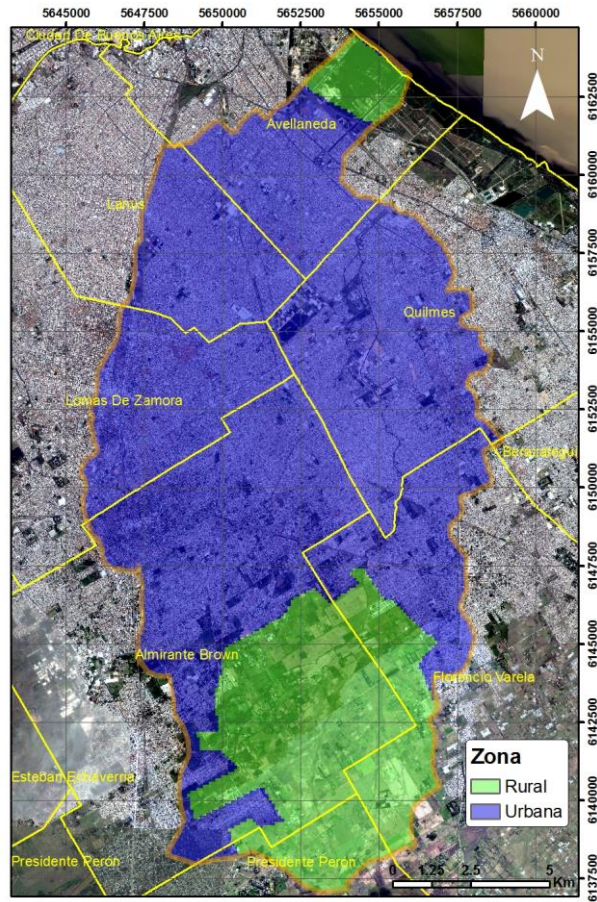


Figura 4.5. Zonificación de la cuenca.

5. DESCRIPCIÓN DE LA MODELACIÓN Y RESULTADOS

5.1. Forzantes

El evento simulado se corresponde al sucedido en La Plata y alrededores el 2 de abril de 2013 centrado en la cuenca de interés, detallado con detalle en el Capítulo 3 del presente informe. Las simulaciones comienzan a las 00:00 del día 2 de abril de 2013 y finalizan a las 00:00 del día 5 de abril de 2013, la serie de precipitación utilizada se presenta en la Figura 5.1. A su vez esa serie de precipitación está afectada por un coeficiente de ajuste distribuido espacialmente en la cuenca¹⁵, tal como se muestra en la Figura 5.2.

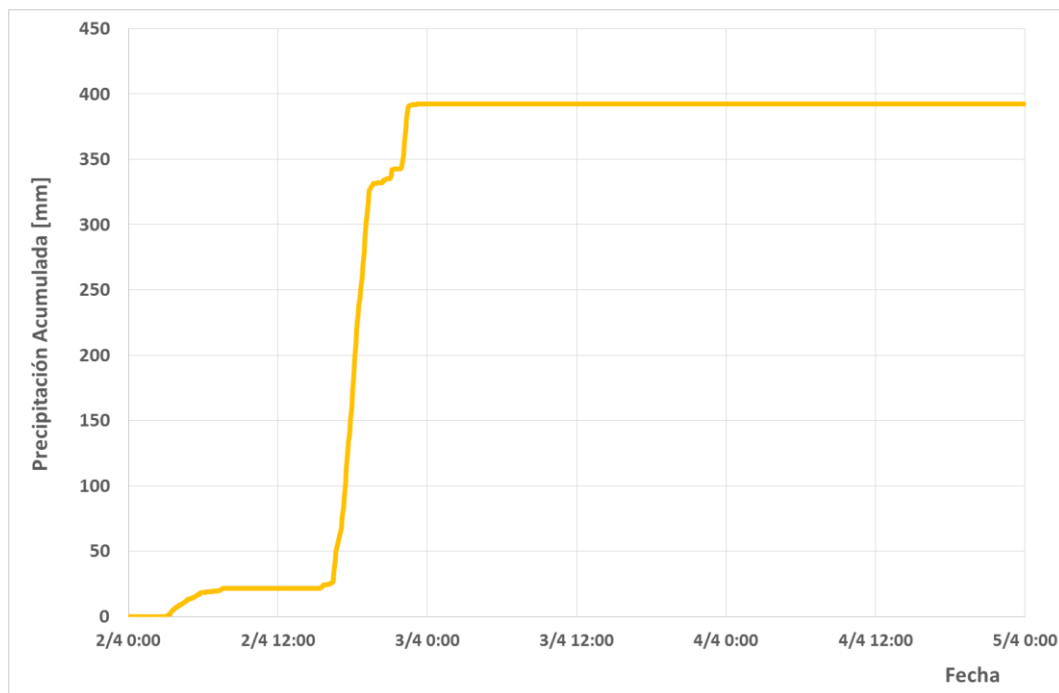


Figura 5.1. Serie de precipitación forzante de la simulación.

¹⁵ Instituto Nacional del Agua (INA), 2013. Estudio de inundabilidad en el Gran Buenos Aires - Informe de diagnóstico de las cuencas de los arroyos Luján, Sarandí, Santo Domingo, Jiménez y Las Conchitas. Informe LHA-335-01-12. Instituto Nacional del Agua, Laboratorio de Hidráulica.

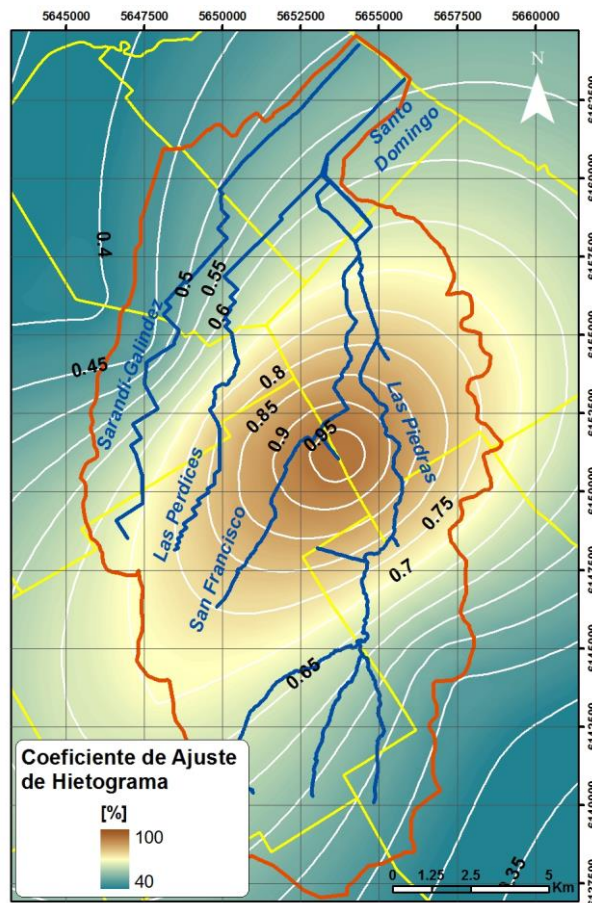


Figura 5.2. Coeficiente de Ajuste del Hietograma utilizado como forzante.

Como condición inicial de las simulaciones se establece que, tanto en las cuencas como en el sistema de desagües (red principal, calles y arroyos, y red secundaria, conductos), los niveles y caudales fueran nulos. Como condición de borde de descarga se impuso el nivel medio del Río de La Plata que se estima en $0,30 \text{ m IGM}^{16}$. La modelación se realizó con una discretización temporal de 10 segundos cumpliendo con la condición de estabilidad de Courant.

A partir de la modelación hidrológica - hidráulica se elaboraron distintos mapas, perfiles transversales y longitudinales de niveles de agua en zonas de interés. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

5.2. Alcance máximo superficial

En la Figura 5.3 se presenta un mapa con los alcances máximos superficiales del nivel de agua para toda la cuenca. La zona con mayor altura de agua, con valores que superan los 3

¹⁶ Re, M., García, P.E., Lecertua, E., Menéndez, A.N., 2015. "Transporte y destino de residuos sólidos flotantes en la desembocadura del río Matanza-Riachuelo". XXV Congreso Nacional del Agua - CONAGUA 2015. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

m, se da aguas arriba de la confluencia de los arroyos Las Piedras y San Francisco abarcando un área de aproximadamente 900 *Ha*. Esta zona tenía un uso mayoritariamente industrial con grandes espacios verdes que han sido ocupados por asentamientos y villas en los últimos años, lo que hace que sea una zona muy vulnerable frente a las inundaciones (Figura 5.4). Otra zona de impacto importante es la de la confluencia de los tres cursos de agua que conforman el arroyo Las Piedras (Almirante Brown y Florencio Varela), estos valores podrían estar sobreestimados por la poca precisión que se tiene en esa zona en el modelo digital del terreno. El resto de las zonas inundables, con alturas de inundación del orden del metro, se encuentran asociadas a las trazas de los distintos canales y arroyos de la cuenca, con un alcance total de no más de 500 *m*. De las dos cuencas que integran el sistema Sarandí – Santo Domingo, la del Santo Domingo es la que se ve más impactada, sobre todo en la cuenca del arroyo Las Piedras.

Cabe acotar que el modelo no incluye los conductos secundarios, por lo que algunas zonas naturalmente bajas, pero con red pluvial debidamente construida y mantenida, tendrían en la realidad un nivel inferior ya que tienen un escurrimiento efectivo.

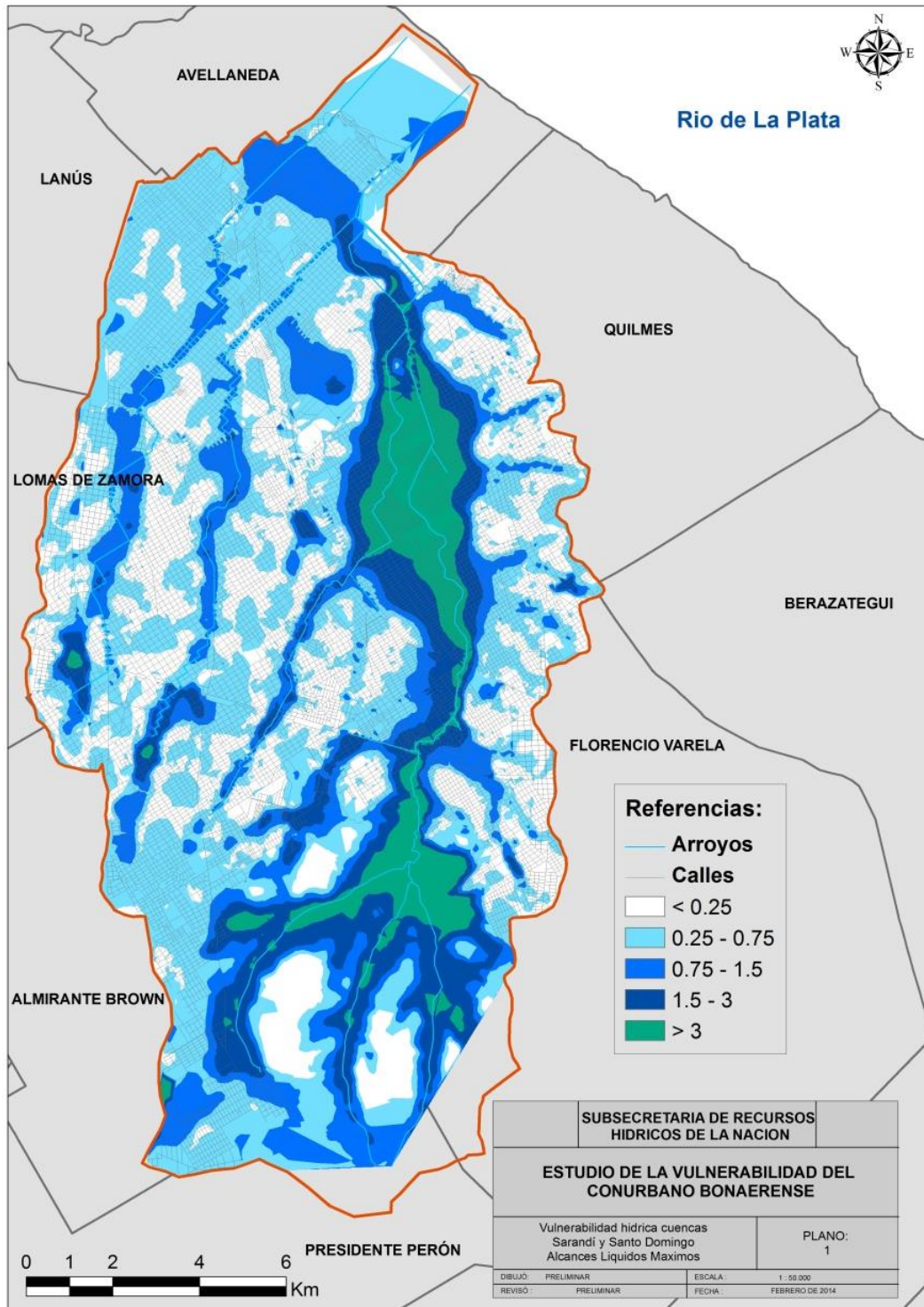


Figura 5.3. Mapa del alcance máximo superficial del nivel de agua para la cuenca Sarandí – Santo Domingo.

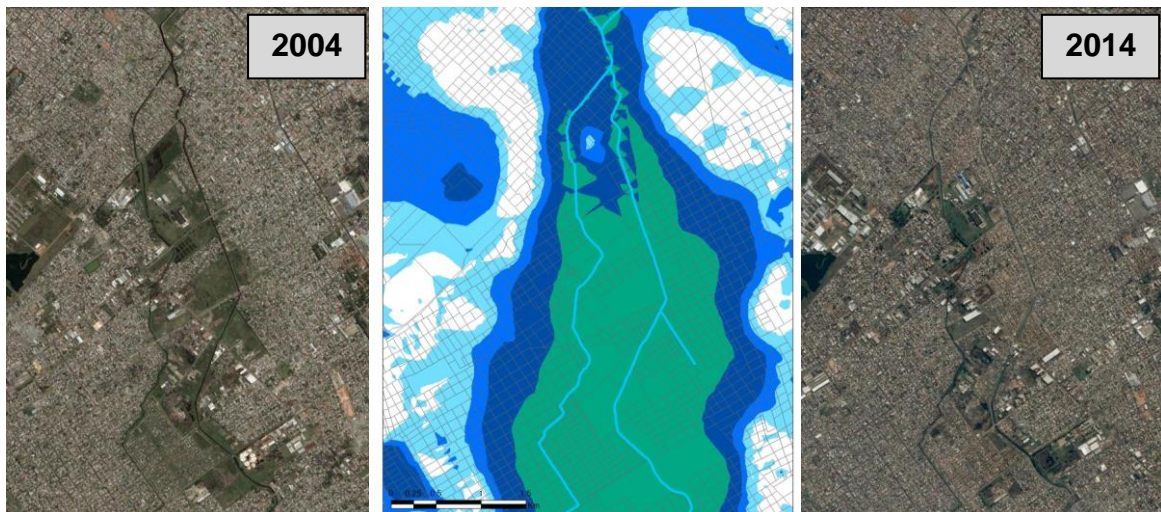


Figura 5.4. Detalle del mapa del alcance máximo superficial y el crecimiento de la zona precariamente urbanizada en la confluencia de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

5.3. Intensidad de sumersión

La zonificación de riesgos y peligrosidades ante inundaciones en cuencas urbanas resulta necesaria para la delimitación de áreas vulnerables, para la planificación territorial y la puesta en marcha de acciones de protección civil que permitan actuar durante las emergencias.

La condición de peligrosidad de una inundación está vinculada con la capacidad de la misma de impactar sobre la estabilidad de las personas o vehículos y/o sobre daños en los bienes materiales. Existen diferentes formas de cuantificar esta condición, en este caso se evaluó una de los posibles indicadores denominado Intensidad de Sumersión, y definido como el producto del tirante y la velocidad del agua en un punto determinado. En la Tabla 5.1 se indica la escala de rangos del nivel de peligrosidad para una de las formulaciones históricas¹⁷. Un nivel elevado genera daños importantes para la economía y pérdida de vidas humanas; un nivel medio genera menores daños que en el caso anterior, pero no son despreciables. Por último, niveles moderados y bajos generan daños generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

A partir del cálculo del coeficiente en cada una de las calles que componen la red de drenaje superficial de la cuenca urbana se obtuvieron los mapas con los valores máximos de este parámetro (Figuras 5.5 a 5.7). Cabe aclarar que el máximo valor de la Intensidad de Sumersión en un punto, no es necesariamente igual al producto de los valores máximos de tirante y de velocidad, ya que estos últimos pueden no suceder de forma simultánea.

¹⁷ Office Federal des Eaux et de la Geologie (2003). Appreciation du Danger Particulier a l'aide de Calculs Simplifies de l'onde de Submersion, Suiza.

Tabla 5.1. Condición de peligrosidad de inundación.

Condición de Peligrosidad	Profundidad x Velocidad del flujo [m²/s]
Elevada	≥ 2
Mediana	$1 \leq I < 2$
Moderada	$0.5 \leq I < 1$
Bajo	< 0.5

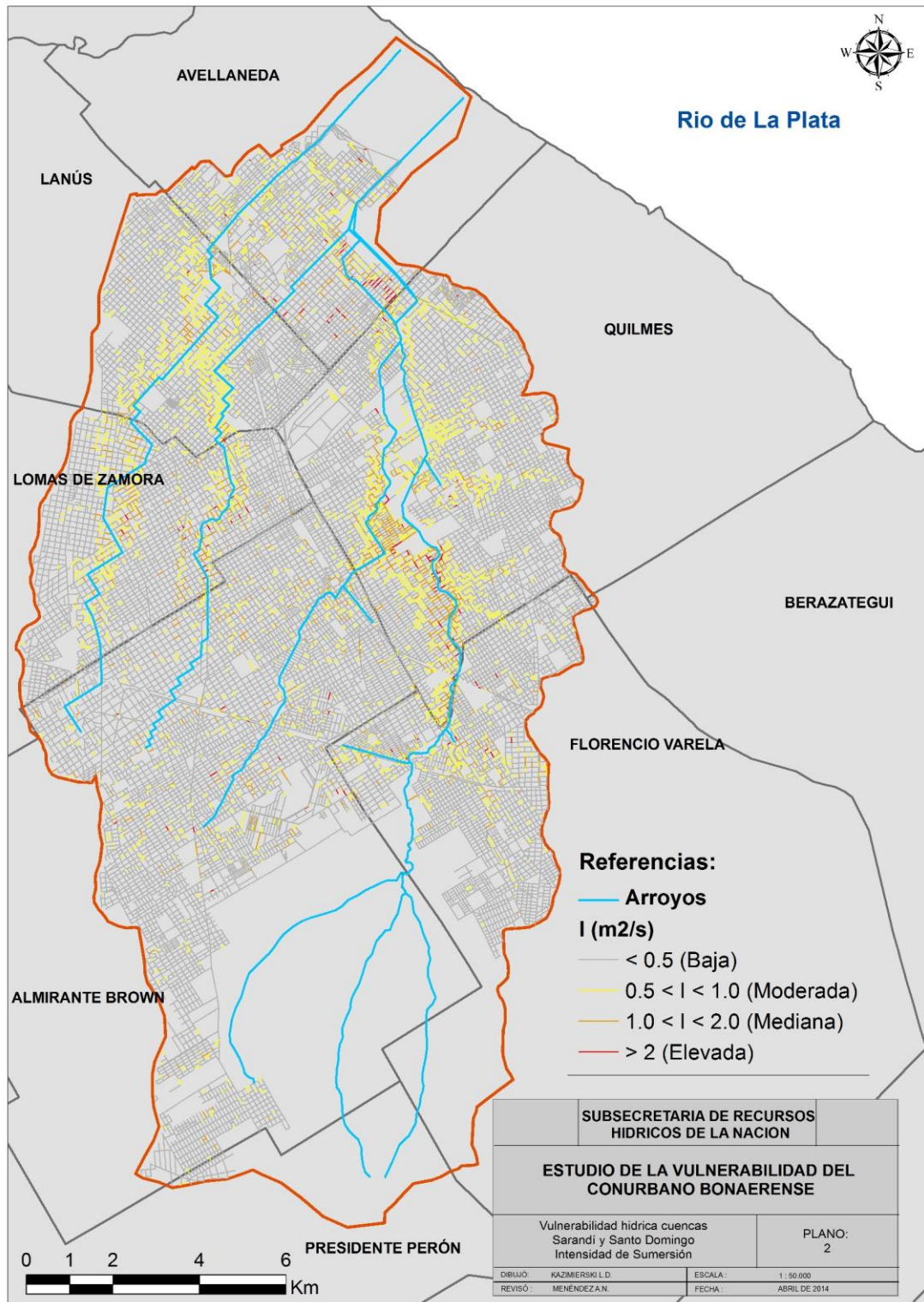


Figura 5.5. Mapa de la peligrosidad de la inundación para la cuenca Sarandí – Santo Domingo.

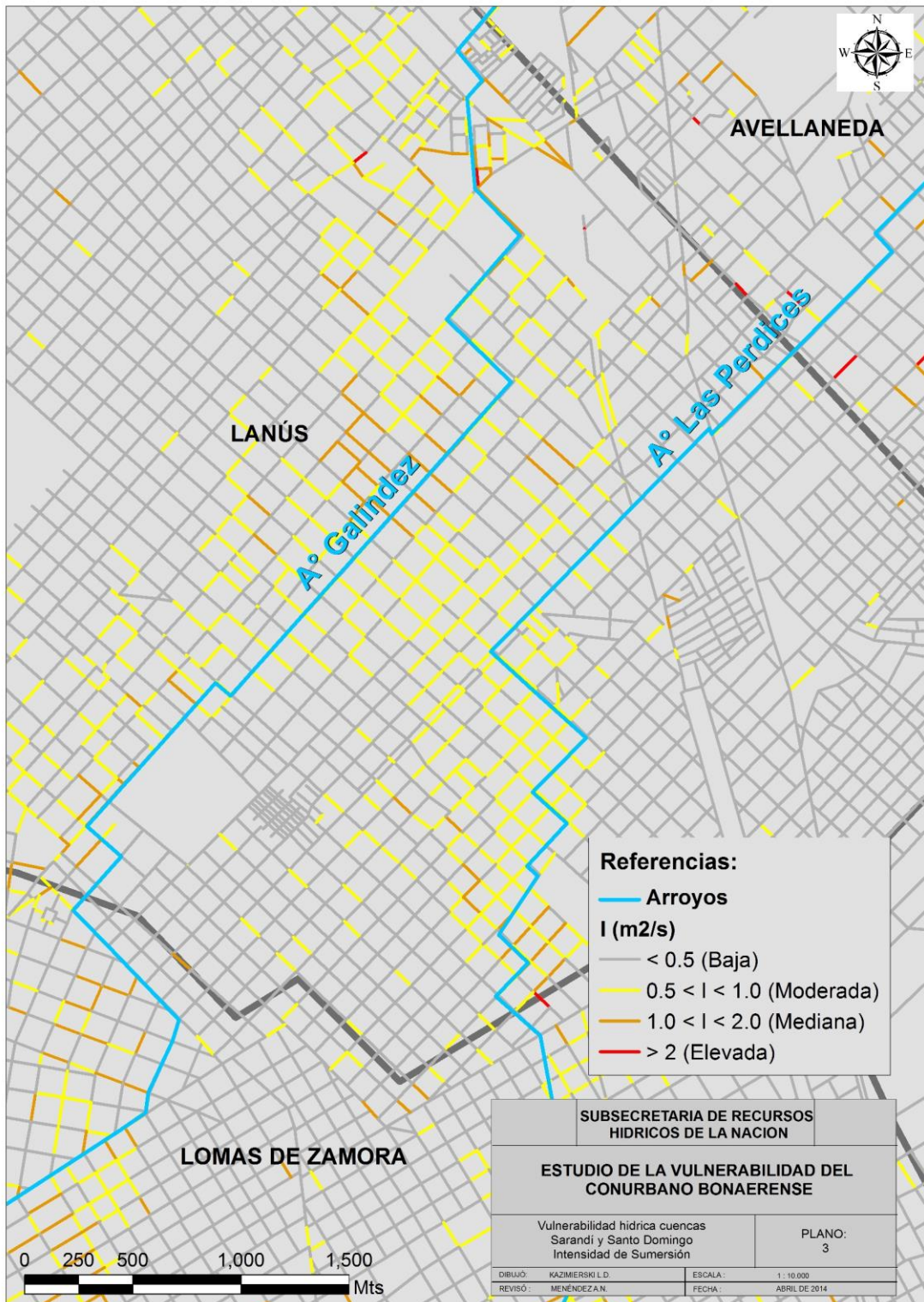


Figura 5.6. Mapa de la peligrosidad de la inundación (detalle en Lanús Este).

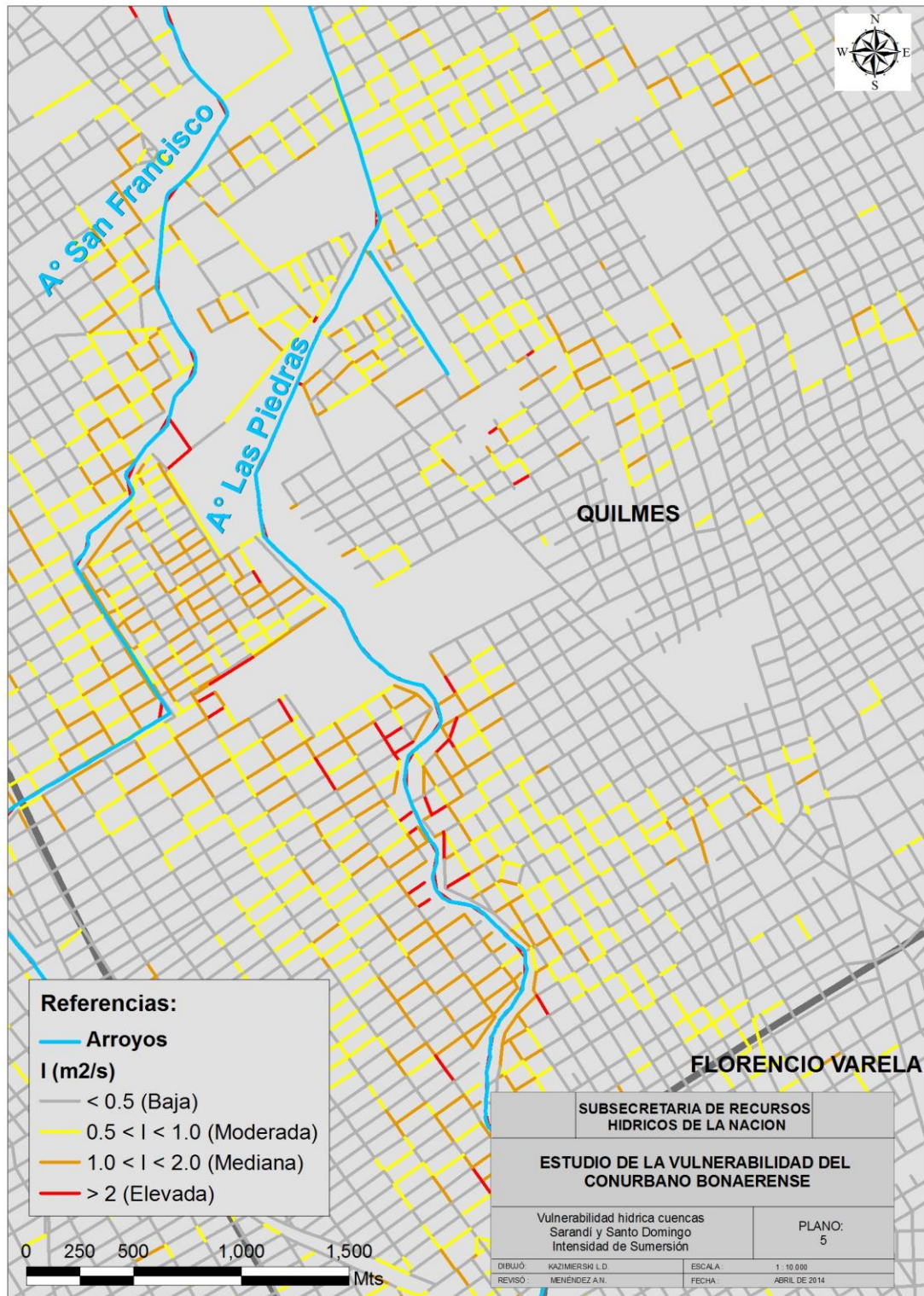
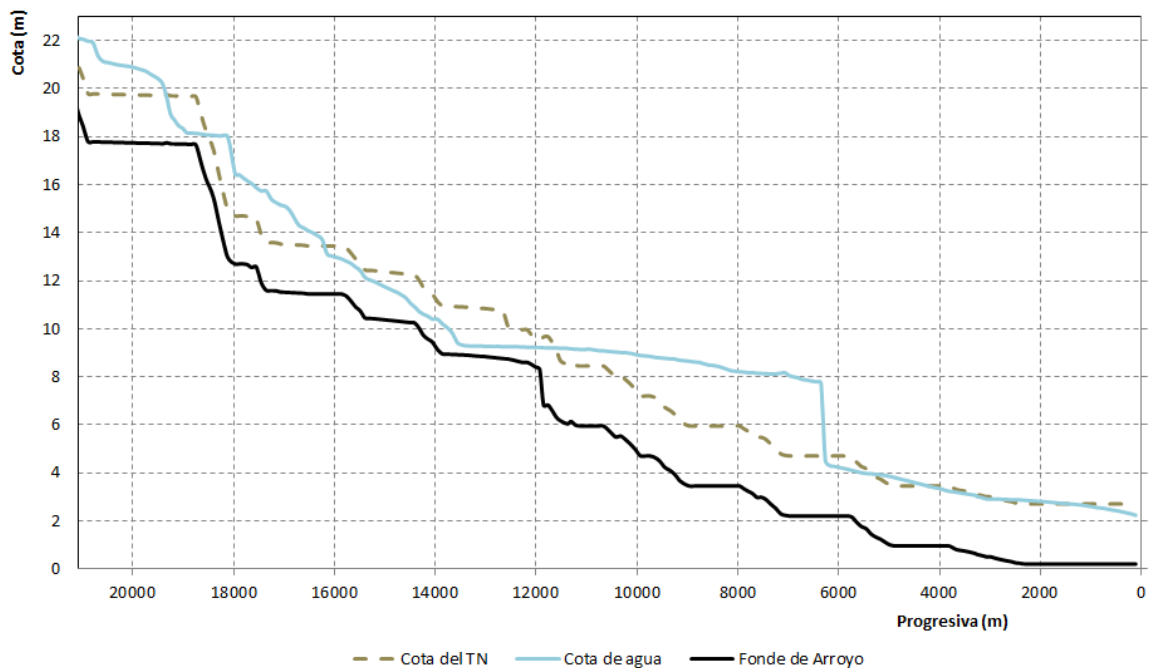


Figura 5.7. Mapa de la peligrosidad de la inundación (detalle en Quilmes Oeste).

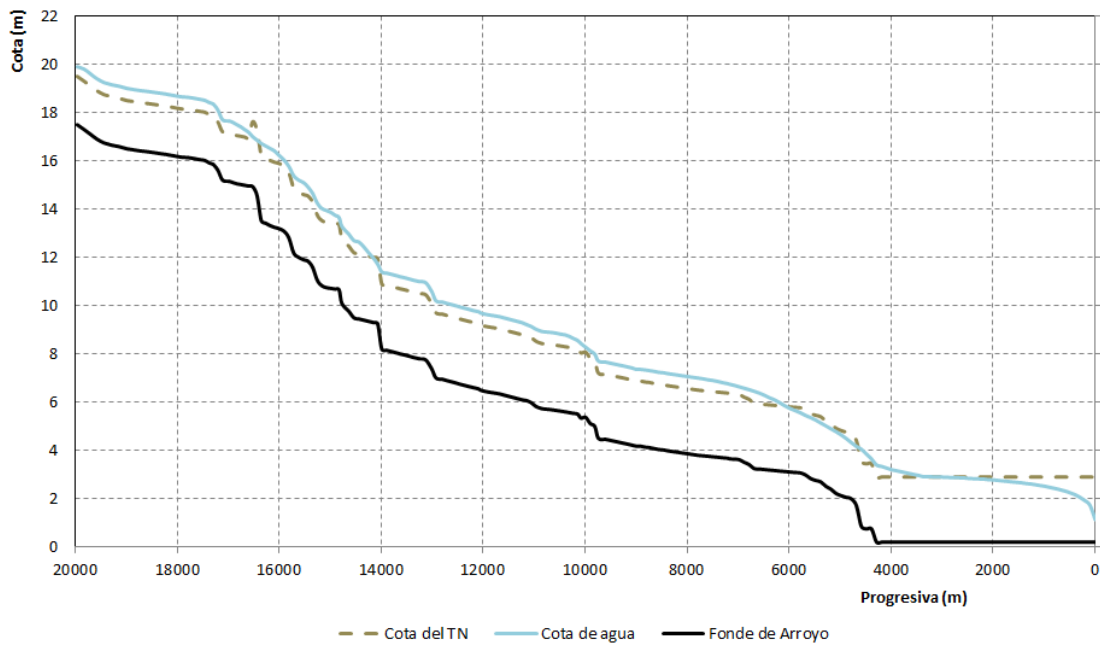
5.4. Perfiles longitudinales

A continuación se presentan los perfiles longitudinales de nivel máximo alcanzado sobre la traza de los distintos arroyos modelados (Figura 5.8). Los arroyos Sarandí-Galíndez y Las Perdices permanecen la mayor parte de su trayecto entubados, mientras que Las Piedras y San Francisco permanecen a superficie libre hasta su último tramo antes de desembocar en los canales rectificadas hasta su descarga en el Río de la Plata.

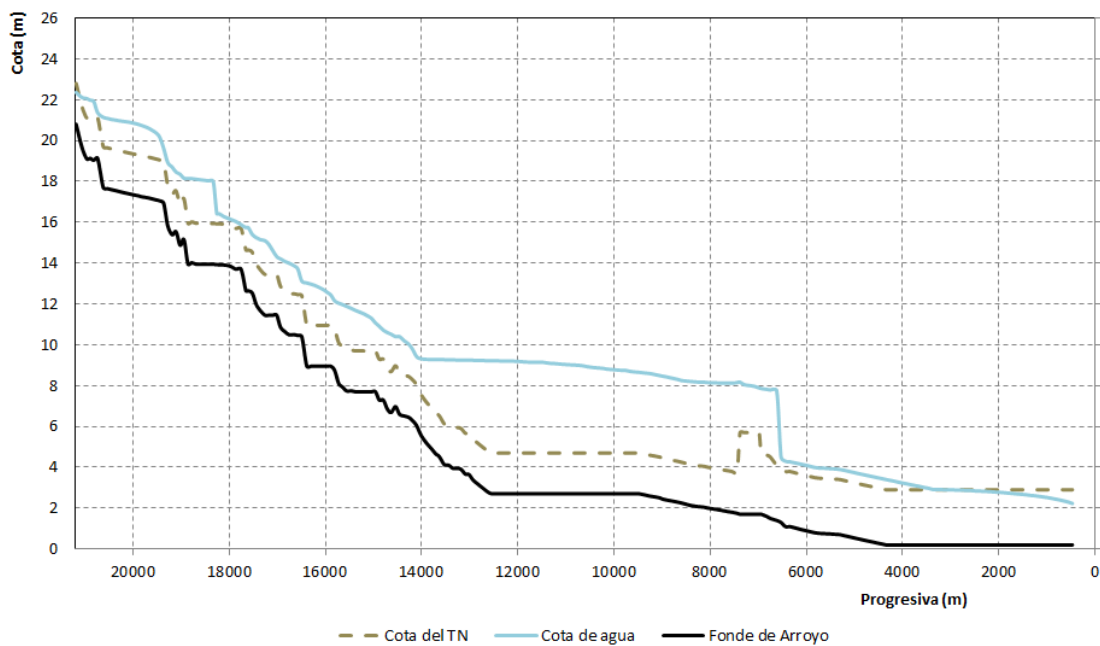
En la Figura 5.9 se muestra un perfil transversal del nivel del terreno, nivel de ingreso a viviendas y nivel máximo de agua sobre el Camino General Belgrano que cruza toda la cuenca de noroeste a sudeste. La inundación máxima se encuentra sobre los arroyos San Francisco y Las Piedras con alturas que superarían los 3 metros. Como se mencionó anteriormente, el modelo no incluye los conductos secundarios, con lo cual es esperable que los niveles de agua estén sobrestimados.



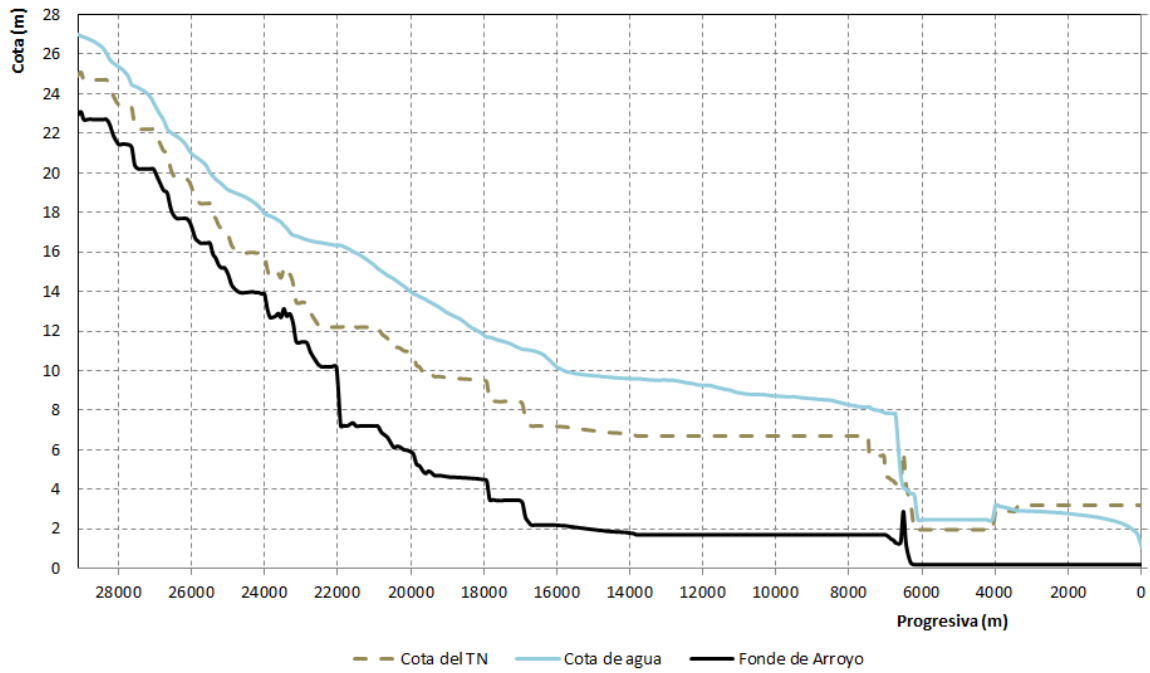
a). Arroyo Sarandí-Galíndez.



b) Arroyo Las Perdices.



c) Arroyo San Francisco.



d) Arroyo Las Piedras.

Figura 5.8. Perfiles longitudinales de los niveles máximos alcanzados.

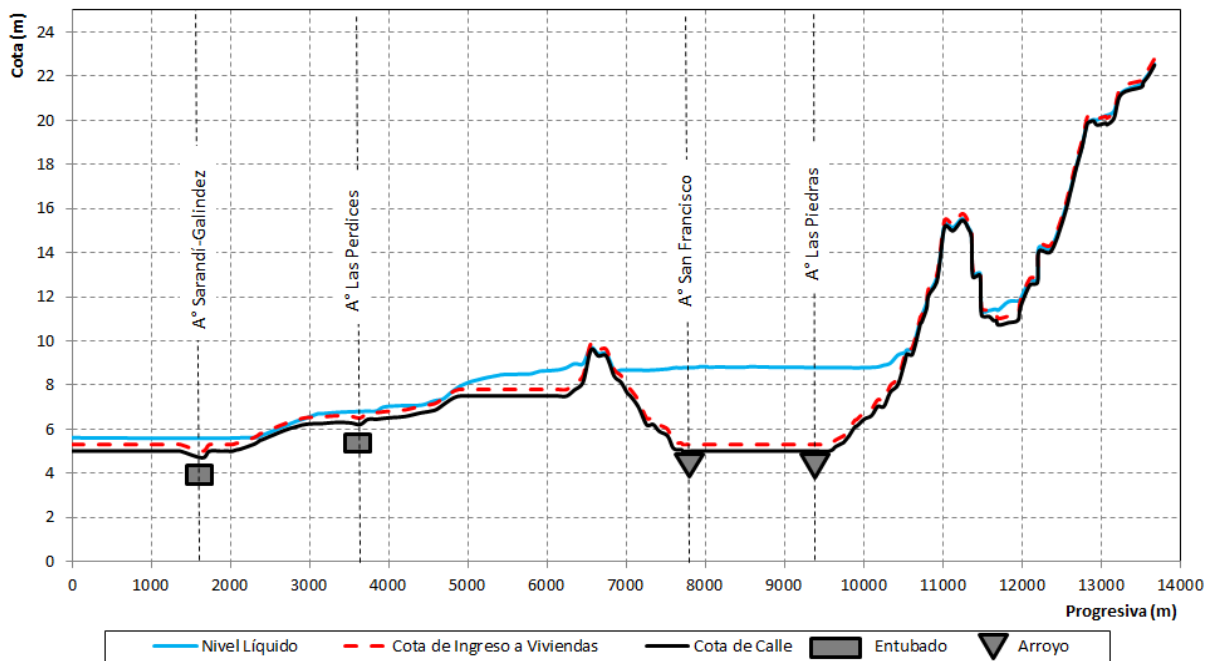
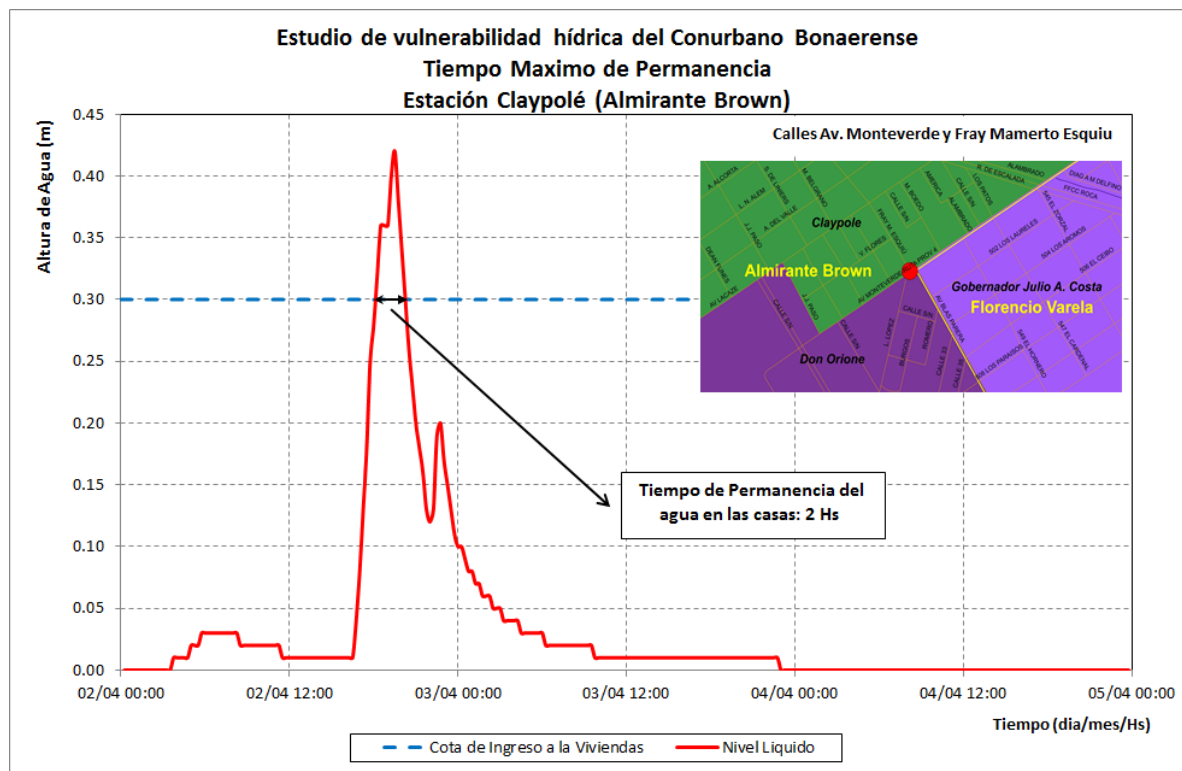


Figura 5.9. Perfiles transversal sobre el camino general Belgrano.

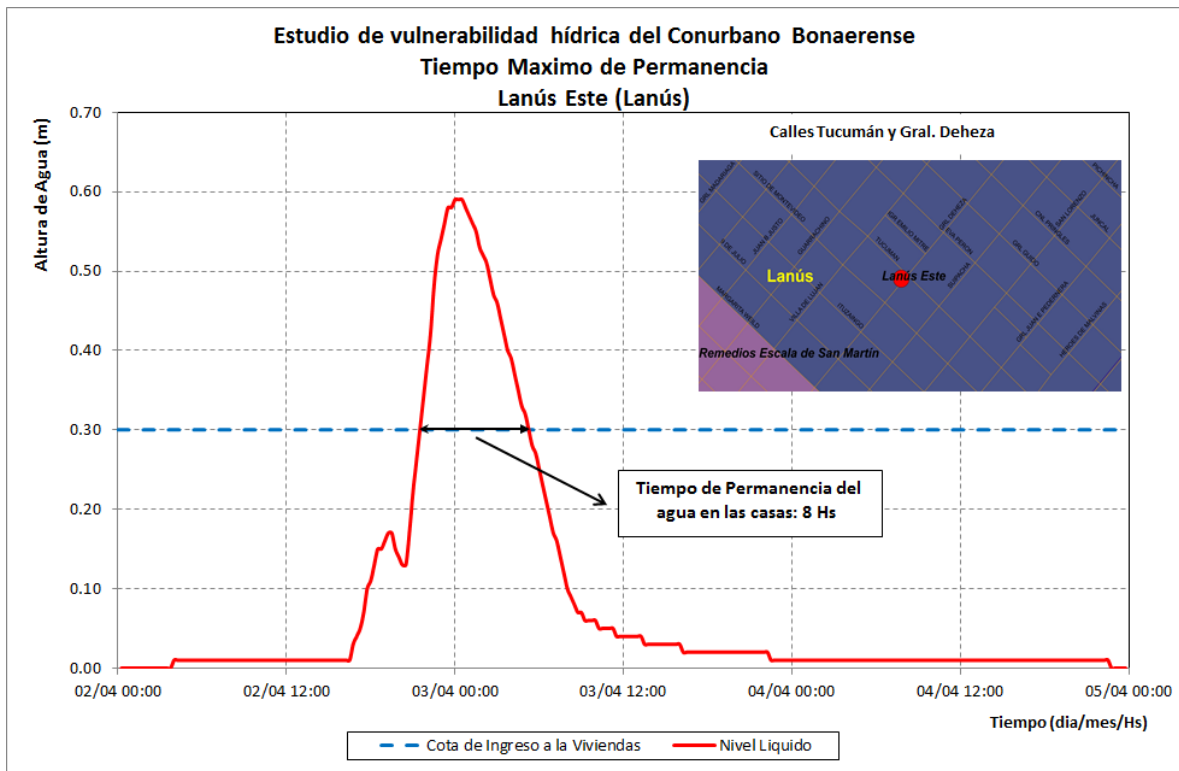
5.5. Alturas de agua en puntos de interés

En la Figura 5.10 se presentan alturas de agua en función del tiempo en algunos puntos de interés de la cuenca, como ser intersección de avenidas o estaciones de ferrocarril. Se ha incluido únicamente un punto por partido descontando al partido de Presidente Perón por pertenecer a la parte más alta de la cuenca con bajos niveles de inundación.

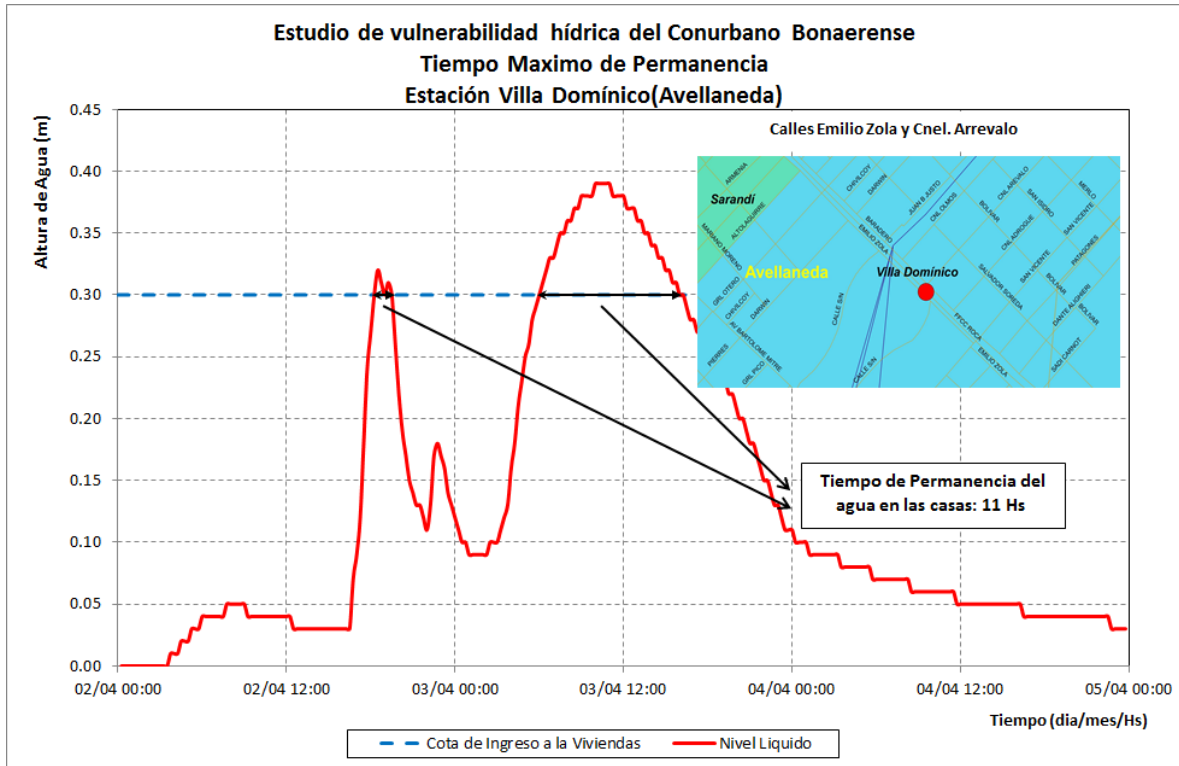
Se estableció como criterio que cuando el nivel de la superficie libre del agua en las calles es mayor a los 30 cm, la misma ingresa a las viviendas. Siguiendo este límite, se puede observar que existen zonas en el partido de Quilmes, zonas bajas antiguos bañados, donde el agua permanece en las viviendas por más de 30 horas. En el resto de los puntos analizados, el tiempo de permanencia del agua en viviendas varía entre las 2 horas (Estación Claypole, Figura 5.10.a) y las 11 horas (Estación Villa Domingo, Figura 5.10.c). Se destaca el caso de los niveles en la zona de la Estación Villa Domingo (Figura 5.10.c) en donde se observan dos picos de nivel, uno asociado al impacto directo de la precipitación en ese punto y el otro asociado al desborde de los arroyos.



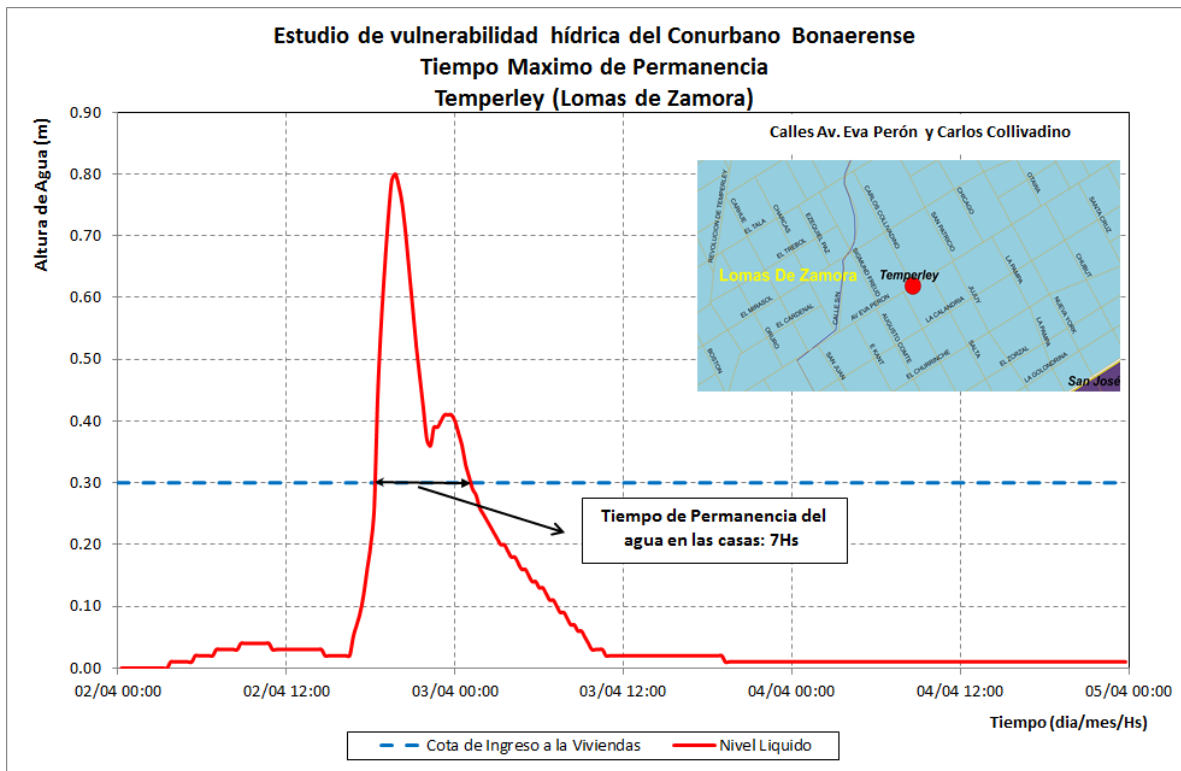
a) Estación Claypole. Zona de influencia del desagüe del barrio Don Orión, vinculada al arroyo Las Piedras.



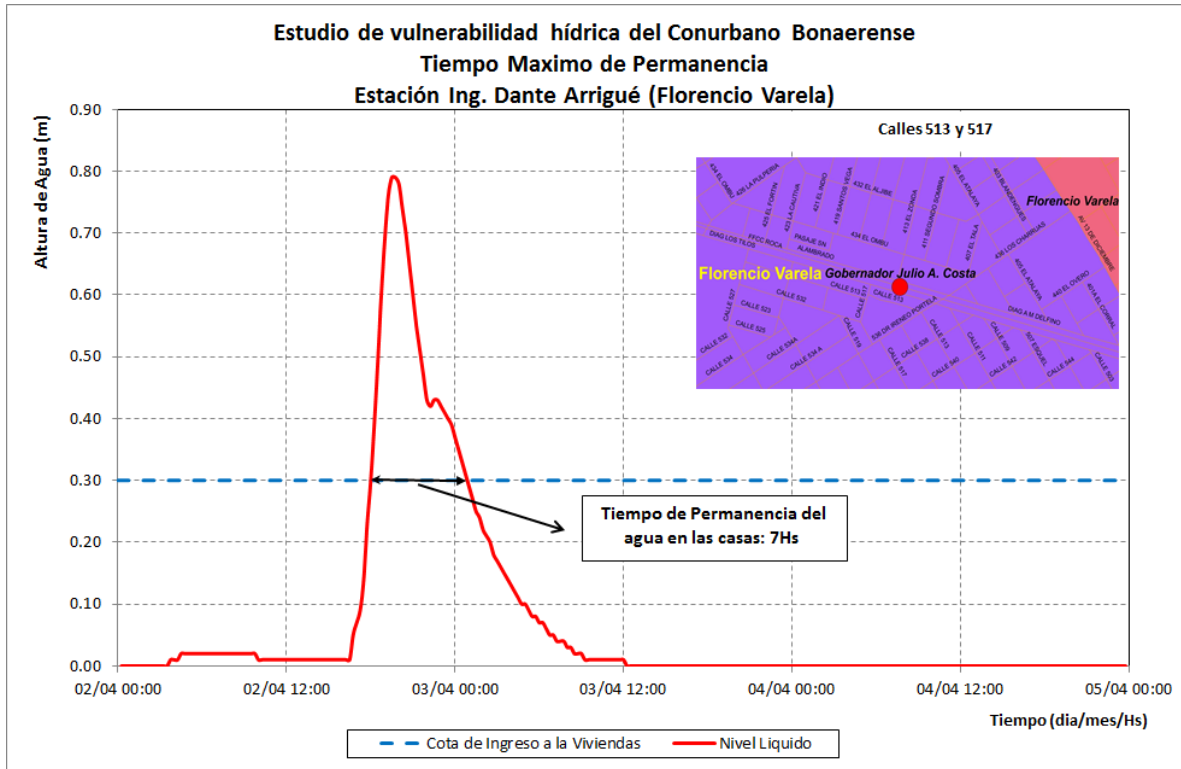
b) Lanús Este. Punto vinculado al arroyo Galindez (a unos 600 m).



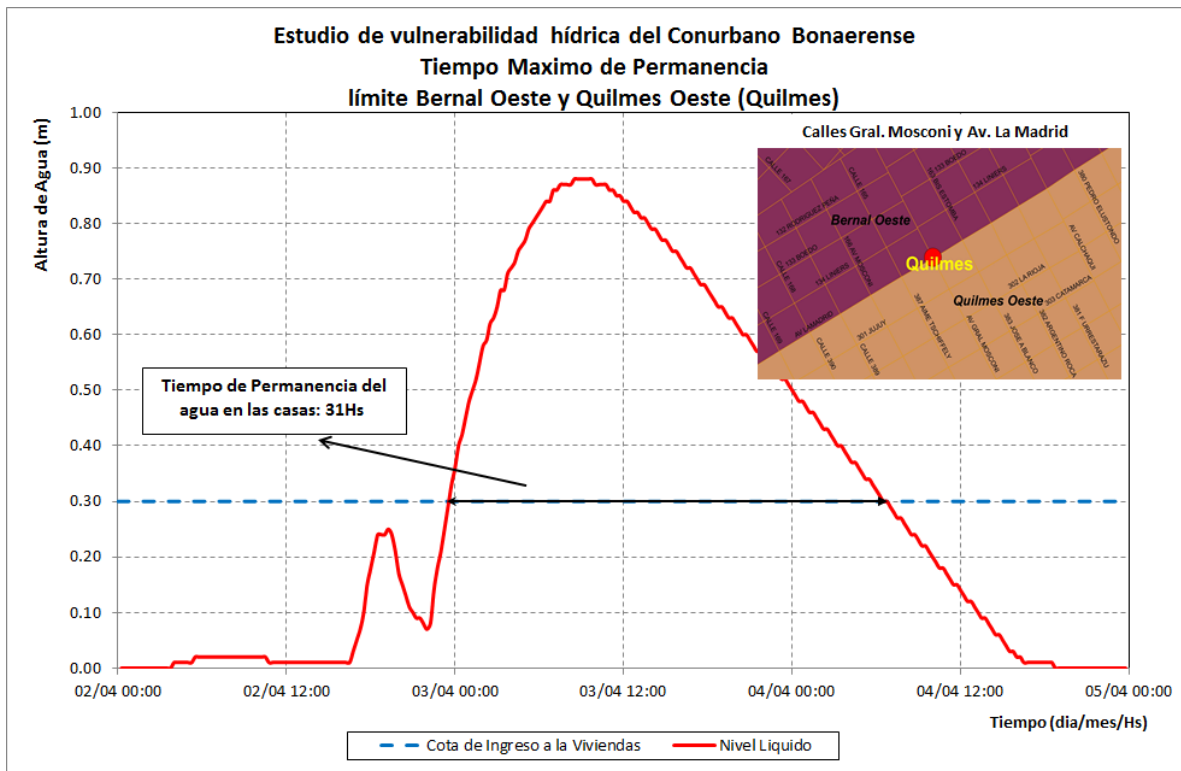
c) Estación Villa Domingo. Punto vinculado al Canal Santo Domingo (a unos 150 m) y cercano a la confluencia de los arroyos Las Perdices, San Francisco y Santo Domingo.



d) Temperley. Punto vinculado al arroyo Galindez (a unos 200 m).



e) Estación Ing. Dante Ardigó. Punto vinculado al arroyo Las Piedras



f) Límite entre Bernal Oeste y Quilmes Oeste. Punto vinculado a los arroyos San Francisco y Las Piedras (zona de bajos).

Figura 5.10. Tiempo máximo de permanencia sobre diferentes puntos de interés en la cuenca.

6. CONCLUSIONES

La cuenca de los arroyos Sarandí y Santo Domingo consiste un sistema conformado principalmente por cuatro arroyos (Galíndez, Las Perdices, San Francisco y Las Piedras) que en su tramo final confluyen hacia los primeros (Galíndez hacia Sarandí y el resto hacia Santo Domingo). La intervención sobre esta región y los procesos de urbanización hizo que se modificaran las condiciones naturales de las cuencas, dado que a partir de su entubamiento el arroyo Las Perdices dejó de aportar al arroyo Sarandí.

En la cuenca viven 1.400.000 personas, la mitad aportadas por los partidos de Almirante Brown y Quilmes (aproximadamente en igual porcentaje). Estos partidos son también los de mayor contribución en área a la cuenca, con un total de alrededor del 50%, pero con diferentes aportes: Almirante Brown (alrededor del 35%) y Quilmes (alrededor del 15%). Estos resultados destacan a las unidades administrativas que mayor preponderancia deberían tener sobre la gestión de la cuenca.

La climatología de las precipitaciones en la RMBA, analizada a partir de las series de precipitación anual del periodo 1960-2014 de las estaciones Ezeiza y OCBA, destaca un comportamiento homogéneo en ambas series lo que demuestra una fenomenología similar en toda la región. El análisis de cantidad de días con lluvia se observó que existen apenas unos pocos días más con lluvias en la estación OCBA que en Ezeiza (oscilando alrededor de 70 por año). Los eventos extremos de precipitación esperables en la RMBA superarían un volumen total de 100 mm en un día y se mantendrían por debajo de los 200 mm, pudiendo observarse distintos tipos de intensidades horarias.

El modelo resultante, implementado a partir del software de desarrollo propio *ConuPy 1.0* en la plataforma EPA-SWMM, permitió realizar una primera determinación de las zonas más vulnerables de la cuenca al impacto de una precipitación extraordinaria. El modelo así obtenido es de relativamente alta resolución, contemplando la totalidad de calles y manzanas del sistema junto con los principales cursos de agua de la cuenca (exceptuando la incorporación del sistema de desagües pluviales), lo que sienta bases para una ampliación que permita simular correctamente precipitaciones extremas ordinarias.

La modelación hidrológica-hidráulica resultante permitió identificar los niveles máximos de inundación, inundabilidad dinámica, tiempos máximos de permanencia y áreas más afectadas. Del análisis de los resultados, se desprende que el área de Quilmes Oeste representa la región más afectada, especialmente los antiguos bañados entre los arroyos San Francisco y Las Piedras hoy precariamente urbanizados. Las calles que descargan sus aguas en el arroyo Las Piedras en las localidades de San Francisco Solano y Villa La Florida son los que presentan mayor peligrosidad por inundabilidad dinámica. Los entornos de los arroyos Galíndez y Las Perdices presentan menor impacto pero no por ello descartable.

Los tiempos de permanencia de la inundación obtenidos, en general se encuentran dentro del rango de 2 a 11 horas dependiendo de la localización del punto de análisis. Pero esos valores se hacen más importantes en el interfluvio de los arroyos San Francisco y Las Piedras con valores de más de 30 horas con alturas de agua significativas.

ANEXO I – DETALLES DE ARROYOS

Al.1 Arroyo Sarandí - Galíndez

La información con la que se cuenta de la zona alta de la cuenca del Arroyo Sarandí/Galíndez al momento es escasa- Se han utilizado mapas realizados por el colectivo “Basta de Inundaciones” de Temperley / Lomas de Zamora para estimar la red de drenajes de esta zona (Figura Al.1). En cambio, en la zona baja se cuenta con planos de pluviales provistos por la municipalidad de Lanús y Avellaneda. En años recientes se han llevado a cabo obras en los pluviales de Almirante Brown, más exactamente en el cruce de la Avenida Espora y el FFCC Roca (Adrogué) donde se encuentran las nacientes del entubado principal.

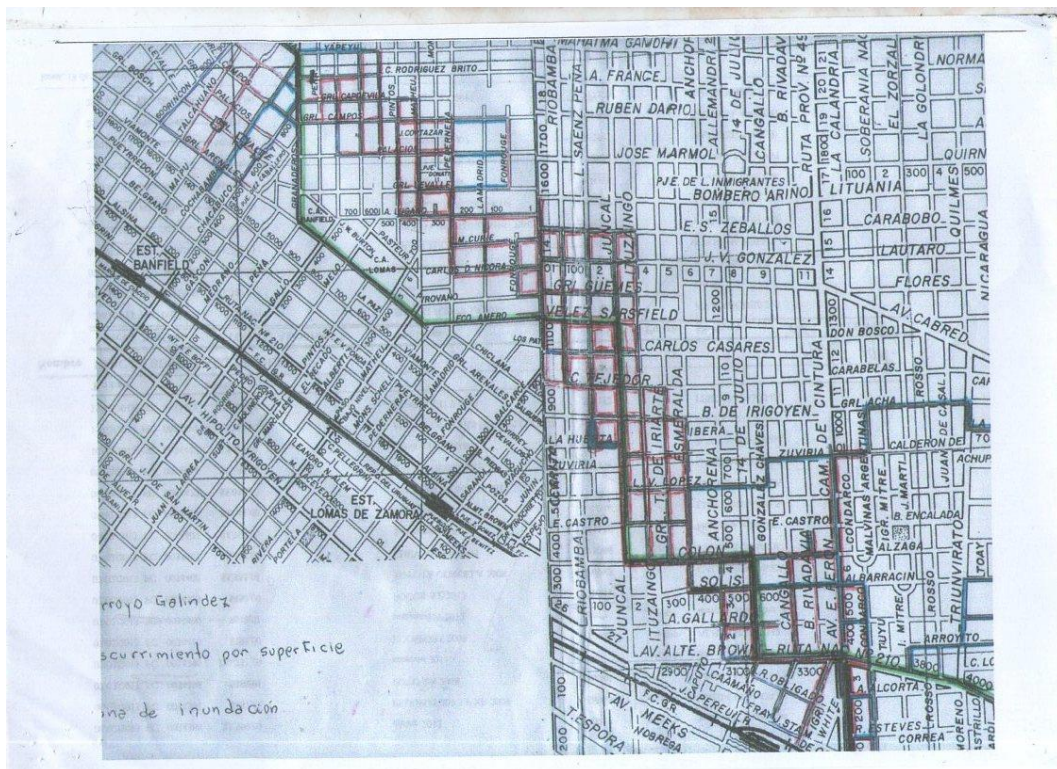


Figura Al.1. Plano realizado por el colectivo “Basta de Inundaciones”
 (bastadeinundaciones.blogspot.com/)

El inicio del pluvial principal se puede estimar en la intersección de la calle José Uriburu y el Ferrocarril Roca en el partido de Almirante Brown, continuando por la Av. Amenabar hasta la Av. Espora donde cambia de nombre por Almirante Brown al ingresar en el partido de Lomas de Zamora (Figura Al.2). Luego recorre por debajo de las calles 14 de julio, Colón,

Juncal, D. Velez Sarfield, Gral. Arenales, Granaderos, Presidente Derqui y Aconcagua (Tramo 1). En este tramo no se cuenta con indicaciones del tipo de sección utilizada.

Allí gira con rumbo norte ingresando en el partido de Lanús por la calle Posadas. La información provista por la municipalidad de Lanús indica que en ese tramo se encuentra una sección Modelo 13 (Tramo 2). Una cuadra antes de llegar al cementerio de Lanús, el pluvial toma la calle Roma y bordea el cementerio por la calle Héroes de Malvinas con una sección de tipo doble rectangular de $5,4\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ hasta la calle Alvear (Tramo 3).

El arroyo entubado continua con una sección doble rectangular de $6.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ por la calle José M. Oyuela luego de realizar una cuadra por la calle Álzaga. Al llegar a la zona de plantas industriales toma el Boulevard Gobernador Martín Rodríguez y luego nuevamente hacia el norte por la calle San Lorenzo hasta la calle Tte. Coronel Brueras. Luego continúa por la diagonal García dividiendo en dos a la Villa Gral. Belgrano (conocida como Villa Sapito) (Tramo 4 – Figura AI.3).

Continúa por el Camino Gral. Belgrano y hacia aguas abajo por Cnel. Madariaga en lo que se denomina Colector Sur ingresando en el partido de Avellaneda con una sección rectangular única de $15.6\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ (Tramo 5) hasta desembocar en el Canal Sarandí a cielo abierto (Tramo 6 – Figura AI.4).



Figura AI.2. *Nacientes del Arroyo Galíndez (Temperley – Lomas de Zamora).*



Figura AI.3. Entubamiento Arroyo Galindez – Tramo 4 (Intersección de las calles Teniente Coronel Brueras y Deheza – Lanús Este – Lanús).

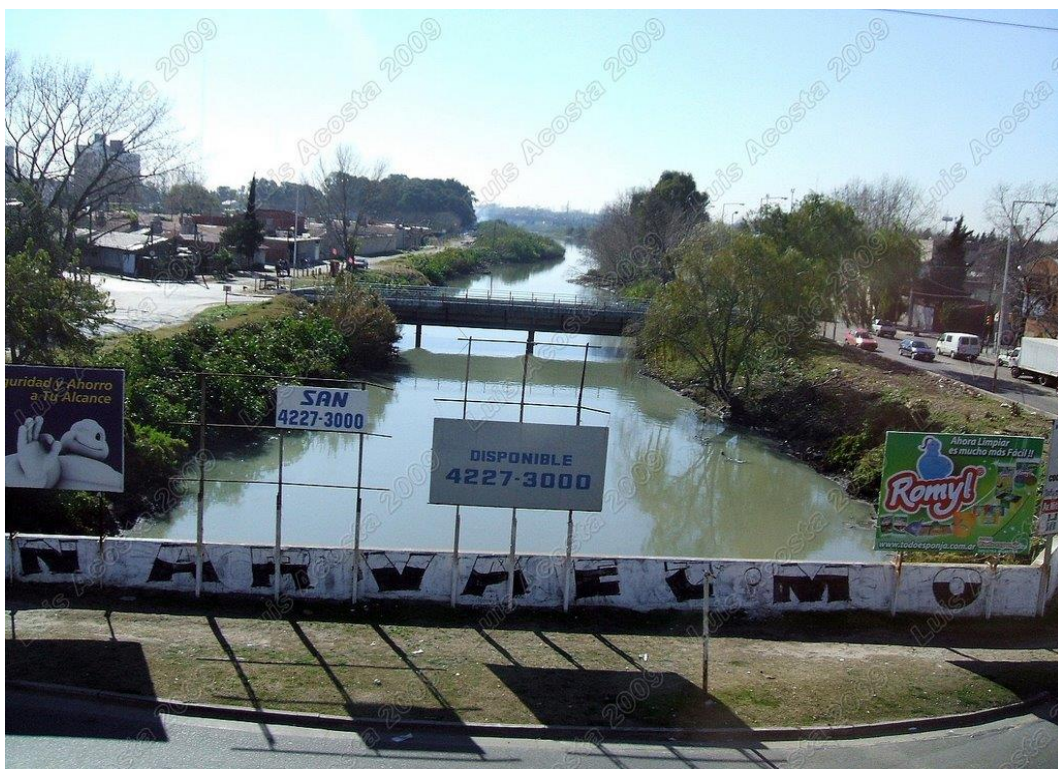


Figura AI.4. Canal Sarandí a cielo abierto (cruce del canal con el FFCC Roca – Sarandí – Avellaneda).

AI.2 Arroyo Santo Domingo

La subcuenca del arroyo Santo Domingo comprende una superficie de aproximadamente 200 km², con una extensión del cauce principal de aproximadamente 23 km. Abarca parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón. El tramo principal es el arroyo Las Piedras, sus nacientes son 3 arroyos a cielo abierto de escasas dimensiones en la zona de cultivos de la localidad de Ministro Rivadavia, partido de Almirante Brown. El cauce toma importancia en el ingreso de la localidad de Gobernador Julio A. Costa, partido de Florencio Varela, donde recibe las aguas del desagüe del barrio Don Orión, paralelo a las vías del FFCC Roca. Continúa hacia aguas abajo atravesando las localidades de San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste y Bernal Oeste. Luego de recibir como único afluente de importancia al arroyo San Francisco, penetra en una antigua zona de bañados (cañada de Gaete), se bifurca en un curso natural y otro artificial, entra nuevamente en una zona de bañados (cerca de Villa Gonnet), continuando luego hasta verter sus aguas en el Santo Domingo, que se encuentra canalizado. A lo largo de toda su traza permanece a cielo abierto, parcialmente rectificado en algunos tramos y de dimensiones variables. El arroyo Las Perdices, originariamente de la subcuenca del arroyo Sarandí, se encuentra interconectado al canal Santo Domingo mediante un sistema de conductos rectangulares¹⁸.



Figura AI.5. Canal Santo Domingo visto desde aguas abajo. De izquierda a derecha las salidas de: Arroyo Las Piedras, San Francisco y Las Perdices¹⁹.

¹⁸ Consejo Federal de Inversiones (CFI), 2013. Sistematización hídrica y control de inundaciones en la Cuenca del Arroyo Las Perdices, provincial de Buenos Aires. Informe final integrador. Estudios y Proyectos SRL. Abril del 2013. (<http://www.biblioteca.cfi.org.ar>)

¹⁹ Consejo Federal de Inversiones (CFI), 2013. Sistematización hídrica y control de inundaciones en la Cuenca del Arroyo Las Perdices, provincial de Buenos Aires. Informe final integrador. Estudios y Proyectos SRL. Abril del 2013. (<http://www.biblioteca.cfi.org.ar>)



Figura A1.6. Canal Santo Domingo visto desde el acceso Sudoeste hacia aguas abajo (Villa Domínico - Avellaneda).

A1.3 Arroyo Las Perdices

La cuenca de aporte del arroyo Las Perdices cuenta con una superficie de 35 km^2 (abarcando los partidos de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Almirante Brown).

En Avellaneda la cuenca abarca una superficie de 3.04 km^2 equivalente a un 8% del total de la misma, cubriendo parte de las localidades de Wilde y Villa Domínico. El área cubierta por la cuenca es netamente urbana, con alta densidad de población y totalmente pavimentada. En esta zona se encuentra ubicada la desembocadura del conducto en el canal Santo Domingo, aguas abajo de las vías del FFCC General Roca. En Quilmes, la cuenca cubre un área menor, de 1.91 km^2 en la localidad de Bernal Oeste, representando el Parque Industrial Bernal Oeste cerca del 60% de la misma. En Lanús la cuenca cubre una superficie total cercana a los 6.65 km^2 equivalente a un 18% del total de la misma, afectando cerca de la totalidad de Monte Chingolo. Se trata de un área totalmente urbanizada, prácticamente totalmente pavimentada, aunque la densidad de población es menor que en Avellaneda. En Lomas de Zamora la cuenca cubre un área de 8.11 km^2 representando el 22% del área total de la misma, afectando principalmente parte de Banfield y Temperley. Se trata de zonas totalmente urbanizadas con casas bajas y una densidad de población del orden de los 500 hab/Ha con un alto porcentaje de calles pavimentadas. Almirante Brown es el partido que cubre el mayor porcentaje de área total de la cuenca con una área de 16.54 km^2 (46% del total). La cuenca atraviesa la parte central del partido afectando a las localidades de San José, José Mármol, Rafael Calzada, Adrogué, Burzaco, Claypole, Ministro Rivadavia y Longchamps. Se trata de un área con un alto porcentaje de urbanización, aunque menor que en los partidos de Lanús y Lomas de Zamora, con barrios de viviendas bajas y algunas

zonas residenciales. El porcentaje de calles pavimentadas es alto. Esta zona de la cuenca se encuentra atravesada por el terraplén del Ferrocarril Roca.

Mediante la obra: “Saneamiento de la Cuenca del Arroyo Sarandí y Santo Domingo, 2° Etapa – Desviación y Entubamiento del Arroyo Las Perdices” se generó la vinculación de este cauce con el Arroyo y Canal Santo Domingo, materializando una nueva salida hacia el Río de La Plata. En la actualidad, el arroyo se encuentra entubado en la totalidad de su traza, de aproximadamente 16.5 km. Esta obra fue llevada a cabo en sucesivas etapas de construcción. El comienzo de los entubamientos en la cuenca data del año 1964, momento en el cual se entubó un tramo del arroyo en la zona próxima a José Mármol (Almirante Brown).

El arroyo Las Perdices desembocaba en el Arroyo Sarandí, en Avellaneda, pero se realizó el desvío a través de la obra denominada Etapa II (Figura Al.7.a). Posteriormente, durante la 3° Etapa del “Saneamiento del Arroyo Las Perdices”, se continuó el entubamiento del arroyo hasta el límite de Lomas de Zamora y Lanús, definido por la Av. Lynch, mediante una sección rectangular de 6.0 m de ancho por 2.7 m de altura. La traza correspondiente con la Etapa III se observa en la figura Al.7.b.



Figura Al.7. Área de obras de las Etapas II y III.

Recientemente se han ejecutado las Etapas 4° a 8° del proyecto mencionado, que continúa con el entubamiento del arroyo hacia aguas arriba, mediante una sección rectangular de 5.6 m de ancho y 2.7 m de altura. Este conducto tiene en su base una sección tolva, lo que contribuye a la optimización de su funcionamiento con caudales mínimos. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Al.8 muestra el tramo correspondiente al área de las Etapas IV a VIII.

Desde las obras de la Etapa VIII hacia aguas arriba el arroyo continúa entubado con una sección doble rectangular de 3.6 x 2.0 m por celda (Etapa IX, Figura Al.9.a), hasta la intersección de las calles Jorge y King con las vías del Ferrocarril Metropolitano (Ex Sarmiento). La conducción continúa hacia aguas arriba hasta la intersección entre las calles Py y Díaz de Solís mediante un conducto rectangular de 4.3 x 2.0 m (Etapa X, Figura Al.9.b).



Figura A1.8. Área de obras de Etapas IV a VIII.



Figura A1.9. Área de obras de las Etapas IX y X.

Hacia aguas arriba de los tramos descritos, continúa el entubado hasta la intersección de Belgrano y 25 de Mayo, donde se localizan las nacientes del arroyo, materializado mediante un conducto circular de 0.80 m de diámetro.

A modo de resumen la Tabla 2.1 muestra las características del entubamiento actual del arroyo. Las Tablas 2.2 a 2.5 muestran con detalles las características del entubamiento realizado en 1964 y para las etapas II a VIII.

Tabla 2.1. Características del Conducto Principal del A° Las Perdices.

Tramos	Etapa	Longitud [m]	Pendiente [m/m]	Tipo de Conducto	Sección [m ²]
1	II	3450	0.00066	R. 2 x 5.6 m x 2.7 m	30.24
2	II	3655	0.00052	R. 2 x 5.0 m x 2.7 m	10.8
3	III	630	0.00107	R. 6.0 m x 2.7 m	16.2
4	IV a VIII	1041	0.00152	R. 5.6 m x 2.7 m	15.12
5		4411	0.00152	R. 5.6 m x 2.7 m	15.12
6	IX	1700	0.0017	R. 2 x 3.6 m x 2.0 m	14.4
7	X	1732	0.0014	R. 4.30 m x 2.0 m	8.6

Tabla 2.2. Conducto existente etapa 1964 (Almirante Brown, Tramo Etapa 1964).

Calle	Entre Calles		#	Ancho [m]	Alto [m]	Longitud [m]
Calle 4	Comodoro Pi	La Rosa	1	4.3	2	129.14
La Rosa	Calle 4	Calle 3	1	4.3	2	115.00
La Rosa	Calle 3	San Martín	1	4.3	2	130.42
San Martín	La Rosa	Erezcano	1	4.3	2	120.05
Erezcano	San Martín	Muratore	1	4.3	2	135.35
Muratore	Erezcano	J. Calvo	1	4.3	2	129.20
J. Calvo	Muratore	Ramírez	1	4.3	2	145.21
Ramírez	J. Calvo	Tome	1	4.3	2	129.92
Ramirez	Tome	Robinson	1	4.3	2	129.92
Robinson	Ramirez	Jorge	1	4.3	2	165.65
Jorge	Robinson	Saenz Peña	1	4.3	2	129.90
Jorge	Saenz Peña	Irigoyen	1	4.3	2	129.29
Jorge	Irigoyen	Granville	1	4.3	2	129.29
Jorge	Granville	King	1	4.3	2	67.30
King	Jorge	Bouchard	2	3.6	2	132.82
King	Bouchard	Piedrabuena	2	3.6	2	97.77
Piedrabuena	King	Ferrer	2	3.6	2	145.32
Piedrabuena	Ferrer	Chayter	2	3.6	2	95.32
Chayter	Piedrabuena	Rosales	2	3.6	2	205.88
Rosales	Chayter	25 de Mayo	2	3.6	2	145.32
25 de Mayo	Rosales	Nother	2	3.6	2	124.32
Nother	25 de Mayo	Arias	2	3.6	2	145.32
Nother	Arias	20 de Septiembre	2	3.6	2	145.32
Nother	20 de Septiembre	Lavalle	2	3.6	2	145.32
Nother	Lavalle	Sin nombre	2	3.6	2	154.00
Sin nombre	Nother	Bynon	2	3.6	2	172.15

Tabla 2.3. Conducto existente etapa II (Avellaneda, Tramo Etapa II).

Calle	Entre Calles		#	Ancho [m]	Alto [m]	Longitud (m)
Pirovano	Caaguazu	Guido	2	5	2.7	122.5
Pirovano	Guido	Pringles	2	5	2.7	117.5
Pirovano	Pringles	Juncal	2	5	2.7	117.0
Pirovano	Juncal	Pichincha	2	5	2.7	117.7
Pirovano	Pichincha	Ayacucho	2	5	2.7	117.7
Pirovano	Ayacucho	Gral. Rodriguez	2	5	2.7	117.4
Pirovano	Gral. Rodriguez	B. Encalda	2	5	2.7	117.2
Pirovano	B. Encalda	Bolaños	2	5	2.7	117.3
Pirovano	Bolaños	Bouchard	2	5	2.7	117.1
Pirovano	Bouchard	Maure	2	5	2.7	245.5
Pirovano	Maure	Burela	2	5	2.7	94.75
Pirovano	Burela	Gral Belgrano	2	5	2.7	103
Pirovano	Gral Belgrano	Camacua	2	5	2.7	98.3
Matanza	Camacua	Caxaraville	2	5.6	2.7	137.2
Matanza	Caxaraville	Campichuelo	2	5.6	2.7	148.5
Matanza	Campichuelo	Cangallo	2	5.6	2.7	144.7
Matanza	Cangallo	Carabelas	2	5.6	2.7	144.2
Matanza	Carabelas	Casacuberta	2	5.6	2.7	155.8
Casacuberta	Matanza	Chascomús	2	5.6	2.7	144.9
Chascomús	Casacuberta	Helguera	2	5.6	2.7	128.5
Chascomús	Helguera	Heredia	2	5.6	2.7	130.3
Chascomús	Heredia	De la Fuente	2	5.6	2.7	127.1
Chascomús	De la Fuente	Lucena	2	5.6	2.7	127.1
Chascomús	Lucena	Agüero	2	5.6	2.7	127.1
Chascomús	Agüero	Arredondo	2	5.6	2.7	159.2
Chascomús	Arredondo	Mansilla	2	5.6	2.7	135.7
Chascomús	Mansilla	Villegas	2	5.6	2.7	143
Chascomús	Villegas	Cordero	2	5.6	2.7	115.1
Chascomús	Cordero	Soler	2	5.6	2.7	157.6
Chascomús	Soler	Rivadavia	2	5.6	2.7	134.5
Chascomús	Rivadavia	Diamante	2	5.6	2.7	64.2
Chascomús	Diamante	Belgrano	2	5.6	2.7	71.8
Chascomús	Belgrano	Brandsen	2	5.6	2.7	112
Chascomús	Brandsen	Helguera	2	5.6	2.7	175.3
Chascomús	Av. Mitre	Mitre	2	5.6	2.7	676.1

Tabla 2.4. Conducto existente etapas II-III (Lanús).

Tramo	Calle	Entre Calles	#	Ancho (m)	Alto (m)	Longitud (m)	
Etapa III	Nuñez	Lynch	Cavia	2	3.8	2.7	69.3
	Nuñez	Cavia	Gascón	2	3.8	3	100.5
	Nuñez	Gascón	Charcas	2	3.8	3	106.0
	Charcas	Nuñez	Alvear	2	3.8	3	108
	Charcas	Alvear	Alzaga	2	3.8	3	107.1
	Charcas	Alzaga	Berón de Astrada	2	3.8	3	117.7
	Berón de Astrada	Charcas	-	2	3.8	2.7	38.6
Ampliación II Etapa	Sitio de Montevideo	Corvalan	Cotagaita	2	5	2.7	107.7
	Sitio de Montevideo	Cotagaita	Menendez	2	5	2.7	98.3
	Sitio de Montevideo	Menendez	De la Pena	2	5	2.7	118.9
	Sitio de Montevideo	De la Peña	B. de los Italianos	2	5	2.7	116.1
	Sitio de Montevideo	B. de los Italianos	Pirovano	2	5	2.7	145.3
	Pirovano	Sitio de Montevideo	Tucuman	2	5	2.7	135.9
	Pirovano	Tucuman	Caaguazu	2	5	2.7	132.3

Tabla 2.5. Conducto existente etapas IV a VIII (Almirante Brown / Lomas de Zamora).

Calle	Entre Calles		#	Ancho [m]	Alto [m]	Longitud [m]
José Manuel Estrada	Bynon	Mitre	1	5.6	2.7	174
José Manuel Estrada	Mitre	Canale	1	5.6	2.7	83.2
José Manuel Estrada	Canale	Amenedo	1	5.6	2.7	395.8
Amenedo	J.M. Estrada	Rep. Argentina	1	5.6	2.7	121
República Argentina	Amenedo	Bolivar	1	5.6	2.7	129
República Argentina	Bolivar	Bernardi	1	5.6	2.7	104
República Argentina	Bernardi	Frias	1	5.6	2.7	91
República Argentina	Frias	Warnes	1	5.6	2.7	85
República Argentina	Warnes	Juramento	1	5.6	2.7	171
República Argentina	Juramento	Tarija	1	5.6	2.7	153
República Argentina	Tarija	Nicaragua	1	5.6	2.7	125
República Argentina	Nicaragua	Quilmes	1	5.6	2.7	122
República Argentina	Quilmes	La Golondrina	1	5.6	2.7	120
República Argentina	La Golondrina	El Zorzal	1	5.6	2.7	117
República Argentina	El Zorzal	El Hornero	1	5.6	2.7	126
República Argentina	El Hornero	La Calandria	1	5.6	2.7	114
República Argentina	La Calandria	Caruhe	1	5.6	2.7	146
Av. Pasco	Caruhe	Charcas	1	5.6	2.7	150
República Argentina	Av. Pasco	El Mirasol	1	5.6	2.7	255
República Argentina	El Mirasol	Collvadino	1	5.6	2.7	235
El Tala	Collvadino	San Patricio	1	5.6	2.7	187
El Tala	San Patricio	Chicago	1	5.6	2.7	112
El Tala	Chicago	New York	1	5.6	2.7	122
República Argentina	New York	Otawa	1	5.6	2.7	91
República Argentina	Otawa	Portugal	1	5.6	2.7	131
República Argentina	Portugal	Suecia	1	5.6	2.7	107
República Argentina	Suecia	Nazaret	1	5.6	2.7	101
República Argentina	Nazaret	Suiza	1	5.6	2.7	230
República Argentina	Suiza	Costa Rica	1	5.6	2.7	220
República Argentina	Costa Rica	Baltasar	1	5.6	2.7	140
República Argentina	Baltasar	Alemania	1	5.6	2.7	91
República Argentina	Alemania	Dinamarca	1	5.6	2.7	139
República Argentina	Dinamarca	Armesti	1	5.6	2.7	129
República Argentina	Armesti	Rojas	1	5.6	2.7	115
República Argentina	Rojas	Onofre	1	5.6	2.7	217
República Argentina	Onofre	Lanús	1	5.6	2.7	114
República Argentina	Lanús	Lynch	1	5.6	2.7	76

AI.4 Arroyo San Francisco

La cuenca de aporte del arroyo San Francisco abarca parte de los partidos de Quilmes y Almirante Brown.

En el partido de Quilmes la cuenca cubre parte de las localidades de San Francisco Solano, Quilmes Oeste y Bernal Oeste. En el partido de Almirante Brown, la cuenca cubre parte de las localidades de Don Orión, Burzaco, Claypole, Rafael Calzada, San Francisco Solano y San José.

Las nacientes del arroyo se encuentran al oeste del Barrio Villa Don Orión, en inmediaciones de la intersección de las avenidas República Argentina y Monteverde. El canal a superficie libre se extiende en sentido noreste hasta el FFCC Roca (Ramal Plaza Constitución – Alejandro Korn). En ese punto pasa a estar entubado atravesando el cementerio de Almirante Brown y a la salida nuevamente a cielo abierto. Continúa por su cauce natural y paralelo a la Av. San Javier. Ingresa en el predio del Asentamiento 2 de Abril / 14 de Noviembre (Figura AI.10) y conecta con el Canal Charcas para volver a rectificarse en la Av. Donato Álvarez ingresando en el partido de Quilmes (Figura AI.11 y AI.12).

Gira con dirección noroeste paralelo a la calle 892 entre los asentamientos La Matera a margen derecha y El Tala a margen izquierda. A la altura de la calle 814 cruza el asentamiento La Matera y bordea el asentamiento Km 13, Santa Lucía y Santa Rosa. Ingresa en la villa Santa María y asentamiento Arroyo San Francisco. A su salida confluye en único canal a cielo abierto con el Arroyo Las Piedras donde luego de 450 metros se vuelve a dividir en 2 canales que rápidamente pasan a ser entubados. Se denominarán arroyo San Francisco al que escurre al sudoeste con una sección doble rectangular de 5.6 m x 2.5 m y Las Piedras al noreste, el cual a su vez se divide en 2 conductos con sección Modelo N° 7.



Figura AI.10. Arroyo San Francisco – Barrio 2 de Abril (Rafael Calzada – Almirante Brown).



Figura A1.11. Arroyo San Francisco cruce con Donato Alvarez (San Francisco Solano – Quilmes).



Figura A1.12. Arroyo San Francisco cerca del cruce con Av. Mosconi (Bernal Oeste – Quilmes).

AI.5 Arroyo de Las Piedras

La cuenca del Arroyo de Las Piedras comprende los partidos de Presidente Perón, Almirante Brown, Florencio Varela y Quilmes cubriendo un área de 26.2 km².

En el partido de Almirante Brown la cuenca cubre parte de las localidades de Glew, Longchamps, Ministro Rivadavia, Don Orione, Claypole y San Francisco Solano.

Aguas abajo, en el partido de Florencio Varela las localidades de Villa Brown, Villa Santa Rosa, Gobernado Julio A. Costa, Villa Vatteone y Florencio Varela se encuentran dentro del área de aporte al arroyo Las Piedras. Y por último, en el partido de Quilmes, a excepción de Ezpeleta, todos las demás localidades tienen parte de su territorio dentro de la cuenca (San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste, Quilmes, Bernal Oeste, Bernal y Don Bosco). El arroyo en todo este tramo recibe el aporte de distintos pluviales de la zona, como ser el Arroyo Quinta Sastre a la altura de la Avenida Padre Obispo J. Novak.

El arroyo escurre lo largo de toda su traza a cielo abierto, parcialmente rectificado en algunos tramos y de dimensiones variables. Sus nacientes son 3 arroyos a cielo abierto de escasas dimensiones (aproximadamente 5 metros de ancho por 2 de profundidad) en la zona de cultivos de la localidad de Ministro Rivadavia. El cauce principal nace en el ingreso de la localidad de Gobernador Costa donde recibe las aguas del desagüe del barrio Don Orione, paralelo a las vías del FFCC Roca. Continúa hacia aguas abajo atravesando las localidades de San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste y Bernal previo a su confluencia con el arroyo San Francisco.

En todo su cauce principal, la llanura de inundación se encuentra completamente intervenida a excepción del tramo entre las calles 826 y el Camino Gral. Belgrano. En este tramo se encuentra la Papelera Massuh y otras plantas industriales, y se observa un gran incremento de asentamientos en los últimos años.



Figura AI.13. Arroyo Las Piedras cruce con la Av. San Martín (Quilmes Oeste –Quilmes).



Figura AI.14. Arroyo Las Piedras cruce con la Av. Lamadrid (Bernal Oeste –Quilmes)