



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DOCTORAL EN GEOGRAFÍA

**INUNDACIONES Y ANEGAMIENTOS EN INGENIERO WHITE.
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
PARA LA PLANIFICACIÓN
Y GESTIÓN DE LA HIDROLOGÍA URBANA**

Agrim. NÉLIDA BEATRIZ ALDALUR

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2010

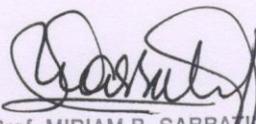
Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, durante el período comprendido entre el 26 de abril de 2005 y el 3 de noviembre de 2010, bajo la dirección de la Dra. Alicia María Campo, Profesora Asociada de la cátedra de Geografía de los Sistemas Naturales I de la Licenciatura y Profesorado de Geografía y de la cátedra de Geografía Física de Agrimensura, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur e Investigadora Adjunta del CONICET y la co-dirección de la Dra. Sandra Fernández, Profesora Asociada de las cátedras Hidráulica General e Hidráulica Fluvial, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 09/05/11, mereciendo la calificación de 10 (SOBRESALIENTE)


Prof. MIRIAM B. SABBATINI
DIRECTORA ADMINISTRATIVA
SECRETARIA GRAL. DE POSGRADO
Y EDUCACION CONTINUA

*A mis padres, Ignacio y María Emilia.
A mi esposo Andrés,
A mis hijos, Leandro, Mariana y Marcelo.*

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, a sus docentes y personal administrativo, por aceptarme, recibirme y atenderme en todo el desarrollo de mi postgrado. Al Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur, que me otorgó la posibilidad de concursar para una beca PROMEI (Proyecto de Mejoramiento de las carreras de Ingeniería) para los últimos años de esta tesis.

Agradezco a las personas e Instituciones que me brindaron datos e información de la cuenca: Agrim. Ana De Aduriz, Agrim. Miguel Martínez, Agrim. Aldo Marcos y Juan Carlos Miguel del Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca. Al Ing. Daniel Fonseca y a la Ing. Cristina Paniagua del Departamento de Vialidad de la Municipalidad de Bahía Blanca. Al Agrim. Miguel Schnegelberger del Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca. A la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires a través del Agrim. Paoloni. A la Dirección General de Puertos y Vías Navegables. A Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA). Al diario La Nueva Provincia de Bahía Blanca por permitirme el acceso a sus archivos y a la señora Stella Grandoso que con tanta paciencia atendió cada una de mis visitas.

En forma particular mi sincero reconocimiento y gratitud a mi directora de tesis Dra. Alicia M. Campo por su valiosa orientación, sus sugerencias, así como por su tiempo, su apoyo y su consejo. Le agradezco que haya confiado en mí siendo de otra disciplina.

Mi agradecimiento a mi codirectora de tesis Dra. Sandra Fernández y al Ing. Néstor Murga, que me alentaron y acompañaron en esta tarea y asesoraron en el diseño de drenajes urbanos.

Especialmente agradezco a la Agrim. Nilda Di Croche, por su constante aliento y su consejo en los temas geodésicos. Al Dr. Néstor Ortega y al Dr. Guillermo Ángeles, porque apoyaron mi idea desde un comienzo. Al Agrim. Mauricio Stolze, Agrim. Pablo Sánchez y Agrim. Pablo Napal, por el tiempo que destinaron en sus relatos sobre los distintos relevamientos en el área de estudio. A la Agrim. Karina Neumann y a Claudia Bell por sus consejos en la medición con instrumental GPS. A la Mg. Nelly Salomón y a la Lic. Paula Galilea, por sus sugerencias en el uso de las bases de datos.

A mis compañeros del proyecto de investigación donde se enmarcó esta tesis. Agradezco especialmente a la Dra. Verónica Gil por ser mi apoyo en morfometría y en la cartografía definitiva, a la Lic. Paula Zapperi por su asesoramiento en el uso de las Cartas del Tiempo y al Esp. Jorge Gentili por sus sugerencias en la etapa final de esta tesis. A la Lic. Belén Ramos, Mg. Ana Casado y Lic. Andrea Silva. A todos ellos por sus incondicionales consejos y continuo aliento en esta tarea.

Porque me proporcionaron bibliografía e información: Dra. Cintia Piccolo, Dr. Eduardo Gómez, Dra. Mariana Torrero, Agrim. Gladys Demaestre.

Agradezco a mis hijos Leandro, Mariana y Marcelo, que sacaron fotos y fueron mis compañeros de campo. A mis amigos y familiares, que me animaron y alentaron. A mis padres, que aunque no están físicamente a mi lado, fueron compañía, ejemplo y guía. A mi esposo Andrés por su paciencia, comprensión y estímulo. Finalmente, doy gracias a Dios, que fue siempre mi gran apoyo.

A todos agradezco el acompañarme en este logro !!!!

Beatriz Aldalur

Bahía Blanca, 3 de noviembre de 2010
Departamento de Geografía y Turismo
Universidad Nacional del Sur

Resumen

La ciudad de Bahía Blanca encontró una salida rápida al mar a pocos kilómetros del Océano Atlántico, con la fundación del puerto de Ingeniero White. Las primeras redes de desagües pluviales para el drenaje de áreas pequeñas surgieron para dar servicio a los distintos asentamientos. El espacio se fue transformando y surgieron los inconvenientes propios de la falta de planificación: las inundaciones y el anegamiento.

Conforme a lo expresado el objetivo general fue desarrollar el estudio de la hidrología urbana de Ingeniero White para establecer criterios de planificación y gestión de la red de desagües pluviales. Los objetivos específicos fueron: delimitar el área de la cuenca urbana y suburbana, relevar la información cartográfica existente mediante el estudio de pendientes, topografía, suelos, catastro, redes de desagües pluviales y/o canales, red cloacal. Actualizar la información, establecer las características morfométricas de la cuenca, analizar las características del uso actual y el uso proyectado de las tierras, definir la incidencia que tienen algunos factores como altura de mareas y establecer cuáles son los diversos aspectos que interactúan en el área para definir soluciones y proponer estrategias de control.

En la presente tesis se utilizó información proveniente de sensores remotos instalados en plataformas aéreas para combinarse con una diversidad de datos a través de la aplicación de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La cuenca estudiada configura una topografía prácticamente llana. El muelle de Ingeniero White quedó emplazado a una altura superior sobre el nivel del mar respecto del casco principal de la ciudad.

Los parámetros morfométricos mostraron una cuenca proclive a presentar eventos de inundación con mayor peligrosidad ante las precipitaciones extremas. La caracterización climática permitió establecer la predominancia de los vientos del Norte y Noroeste en el área de estudio. El estudio de los datos de marea del año 2002 mostró valores de 5,38 m de máxima y - 0,64 m de mínima. El valor medio fue 2,67 m.

Se analizó el crecimiento de la trama urbana y se elaboró cartografía temática del uso actual del suelo. Esta información fue aplicada en el cálculo de caudales. El caudal calculado mediante el método racional fue de 22,41 m³/s para toda la cuenca. Se controlaron los conductos pluviales existentes en el área. La cartografía representativa de

VII

los grados de peligrosidad y de exposición en el área de estudio permitió categorizar las distintas zonas de la cuenca.

Se generó la información de base para ser utilizada en un software propio de la ingeniería. El análisis geográfico muestra un ejemplo multidisciplinario de trabajo. La Sudestada es el estado del tiempo que más perjuicios ha provocado. El riesgo de inundación en el área de estudio se incrementará en la medida en que nuevas tierras se vayan urbanizando en el futuro. El crecimiento urbano ha superado la inversión en desagües pluviales. La información suministrada en esta tesis puede ser la base para futuros estudios y proyectos hidráulicos. Se elaboraron estrategias de manejo tendientes a tener una solución integral a los problemas de la cuenca.

Abstract

Bahía Blanca city found a quick exit to the sea a few miles from the Atlantic Ocean with the founding of Ingeniero White harbor. The first networks of pluvial drains for the drainage of small areas arose to service the various settlements. The space was transformed and began to appear the typical difficulties of the lack of planning: flood and drowning.

According to what has already been stated, the general aim was to develop the study of urban hydrology of Ingeniero White to establish planning and managing criterions of the pluvial drainage network. The specific aims were: to define the area of urban and suburban watershed, to collect the existing map information through the study of slopes, topography, soils, surveying, pluvial drainage networks and/or sewer network. To update the information, to establish the morphometric characteristics of the basin, to analyze the characteristics of current and projected land use, to define the incidence of some factors such as tide height and to establish the different aspects interacting in the area to define specific solutions and propose control strategies.

The present thesis used information coming from remote sensing placed in aerial platforms to be combined with a variety of information through the application of the technology of Geographic Information Systems (GIS). The studied watershed is an almost flat topography. Ingeniero White dock ended up at a superior height from the sea level vis-a-vis the main city center.

The morphometric parameters showed a basin prone to flooding events that are more dangerous in cases of extreme rainfall. The climatic characterization allowed the establishment of the predominance of winds from the North and Northwest in the study area. The study of tide data for the year 2002 showed values of 5,38 maximum and – 0,64 m minimum. The average value was 2,67 m.

The growth of the urban plot was analyzed and a thematic mapping of the current land use was developed. This information was applied to the calculation of flows. The flow was calculated using the rational method and 22,41 m³/s for the entire basin were obtained. Pluvial pipes existing in the area were monitored. The representative mapping of the degree of risk and exposure of the studied area allowed the categorization of the different zones of the basin.

Basic information was generated to be used in an engineering software. The geographical analysis shows a multidisciplinary example of work. The Sudestada is the climatic phenomenon that has caused the most harm. The risk of flooding in the study area will increase as new land is urbanized in the future. Urban growth has exceeded investment in storm drainage. The information provided in this thesis can be the basis for future research and hydraulic projects. Management strategies were developed aiming to have an integrated solution to the problems of the basin.

Índice

Prefacio.....	II
Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	VI
Abstract.....	VIII
Índice	X
Índice de figuras.....	XIII
Índice de tablas.....	XVII
Índice de fotografías.....	XIX
PARTE 1	1
1 . INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes y estado actual del conocimiento.....	3
1.2. Área de estudio.....	5
1.3. Inundaciones en Ingeniero White: frecuencia de sucesos y lugares afectados	9
1.4. Justificación del tema elegido	20
1.5. Hipótesis de trabajo	21
1.6. Objetivos de la investigación.....	21
2 . MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	23
2.1. Bases de datos.....	28
2.2. Relevamiento de puntos de control con instrumental GPS	30
2.2.1. Método de trabajo utilizado en la medición GPS	30
2.2.2. Niveles de referencia en Ingeniero White.....	35
2.2.3. Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB)	36
2.3. Georreferenciación y digitalización de diferentes capas del SIG	38
2.4. Alturas ortométricas y modelo geoidal	41
2.5. Cuenca urbana – cuenca natural	44
2.6. Metodología para analizar la transformación del relieve	50
2.7. Metodología para el cálculo de parámetros morfométricos	53
2.8. Transición climática en Bahía Blanca e Ingeniero White.....	53
2.9. Análisis de las mareas en Ingeniero White	54
2.10. Metodología para el estudio del uso del suelo	55
2.11. Metodología para el diseño de una cuenca urbana.....	57
2.12. Metodología de estudio de la exposición y el peligro	57
PARTE 2	60
3 . DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	61
3.1. Tipo de suelo	63
3.2. Topografía natural	64
3.3. Transformación del relieve.....	70

4 . ESTUDIO DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA	77
4.1. Jerarquización de los cauces.....	78
4.2. Relación de bifurcación.....	80
4.3. Relación de longitud	81
4.4. Relación de elongación.....	82
4.5. El área de la cuenca	83
4.6. Pendiente media.....	86
4.6. Cálculo de pendientes y áreas incorporando la división en subcuencas	86
5 . CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	89
5.1. El clima zonal	89
5.1.1. Estados de tiempo típicos: Sudestada y viento Pampero.....	91
5.2. El clima regional	94
5.3. El clima en Bahía Blanca e Ingeniero White	96
5.3.1. Variabilidad en el período 1971 – 1980.....	97
5.3.2. Variabilidad en el período 1981 – 1990.....	97
5.3.3. Variabilidad en el período 1991 - 2000.....	100
5.3.4. Variabilidad en el período 2001 – 2004.....	105
5.3.5. Variabilidad en el período 2005 – 2009.....	107
5.4. Precipitaciones en la ciudad de Bahía Blanca	112
5.5. Sucesos destacados.....	113
5.6. Análisis de eventos mediante Cartas del Tiempo.....	114
5.7. Distribución de eventos meteorológicos.....	121
6 . LAS MAREAS EN INGENIERO WHITE.....	124
6.1. Características generales del estuario de Bahía Blanca	124
6.2. Plano de reducción	127
6.3. Relación entre los distintos niveles de referencia.....	130
6.4. Variación del nivel del mar	131
6.5. Características de la marea en Ingeniero White.....	132
6.6. Pronóstico de marea. Influencia de los vientos	137
6.7. Máxima y mínima altura de marea desde 1915.....	149
6.8. Análisis de eventos significativos.....	150
7 . USO DEL SUELO	161
7.1. Usos proyectados y usos previstos.....	161
7.2. Uso actual de la tierra	165
7.3. Crecimiento de la trama urbana.....	168
PARTE 3	178
8 . DRENAJES URBANOS.....	179
8.1. Desagües pluviales: estado actual de las obras de arte.....	179
8.2. Red cloacal.....	189
8.3. Diseño de cuencas	191
8.3.1. Coeficiente de escorrentía	192
8.3.2. Intensidad de lluvia	194
8.3.3. Área de drenaje	197
8.3.4. Período de retorno	197
8.3.5. Relaciones de Intensidad- Duración-Frecuencia	199

8.3.6. Cálculo de caudales.....	201
8.3.7. Verificación de conductos y canales existentes.....	202
8.4. Cálculo de precipitación neta.....	205
8.5. Estaciones de bombeo	210
9 . ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN Y EL PELIGRO DE INUNDACIÓN.....	214
9.1. Elementos importantes en el análisis.....	214
9.2. Lugares de evacuación en Ingeniero White y entidades que colaboran en los momentos críticos	215
9.3. Análisis de la peligrosidad	217
9.4. Análisis de la exposición.....	219
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	223
Referencias bibliográficas.....	227
Anexo I.....	
Modelo de entrevista aplicada en el trabajo de campo	243
Anexo II.....	
Tabla de superficies (m ²) de los distintos usos del suelo para cada cuenca y subcuenca	244
Anexo III.....	
Planillas del programa HidroEsta.....	245
Anexo IV.....	
Ventanas mostradas por el programa HidroEsta	273
Anexo V.....	
Tabla de valores del coeficiente de rugosidad n de Manning.....	275
Anexo VI.....	
Ventanas mostradas por el programa HCanales	277

Índice de figuras

Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.....	8
Figura 1.2. Ubicación de calles e instituciones mencionadas en el ítem 1.3.....	10
Figura 1.3. Representación cartográfica de los lugares más afectados por inundación y anegamientos en la ciudad de Ingeniero White.	19
Figura 2.1. Dibujo del cielo en el TGO con presencia de 9 satélites, 27 de junio de 2007.	33
Figura 2.2. Relación entre los distintos niveles de referencia en puerto Ingeniero White.	36
Figura 2.3. Pantalla del TGO luego de la corrección diferencial.....	38
Figura 2.4. Base del SIG: fotografías aéreas rectificadas y georreferenciadas.....	40
Figura 2.5. Esquema representativo de la relación entre las distintas alturas.....	42
Figura 2.6. a. Balance de agua – b. Caudal – c. Respuesta de la geometría de la corriente.	49
Figura 2.7. Sector de uno de los planos de proyecto de pavimento de Ingeniero White.	51
Figura 2.8. Sector del plano de proyecto de pavimento de la delegación 26 de Setiembre.....	51
Figura 3.1. Interpretación de las fotografías aéreas año 1965.	66
Figura 3.2. Curvas de nivel año 1966 – 1967. Equidistancia 1 m.....	67
Figura 3.3. Modelo digital de elevaciones con escala en metros.....	68
Figura 3.4. Perfil longitudinal (A-B) del terreno. Año 1966 – 1967.....	69
Figura 3.5. Perfil transversal (C-D) en la zona alta. Año 1966 – 1967..	69
Figura 3.6. Perfil transversal (E-F) en la zona baja. Año 1966 – 1967..	70
Figura 3.7. Ubicación del área de estudio con detalle de barrios y empresas que la rodean.	71
Figura 3.8. Curvas de nivel año 2008. Equidistancia 50 cm.....	72
Figura 3.9. Modelo digital de elevaciones con escala en metros y detalle de ubicación del área de estudio. Año 2008.....	73
Figura 3.10. Perfil longitudinal (A-B) del terreno. Año 2008.....	74
Figura 3.11. Perfil transversal (C-D) en la zona alta. Año 2008.....	74
Figura 3.12. Perfil transversal (E-F) en la zona baja. Año 2008..	75
Figura 4.1. Representación cartográfica de los escurrimientos y de las 3 cuencas.	79
Figura 4.2. Representación cartográfica de las diferentes subcuencas.	84
Figura 4.3. Representación cartográfica de las subcuencas sobre la base del número de orden.	85
Figura 5.1. Fases de una Sudestada. A: sistema de alta presión. B: sistema de baja presión.	92

Figura 5.2. Fases del Pampero. A: sistema de alta presión. B: sistema de baja presión.....	94
Figura 5.3. Viento estacional de Bahía Blanca período 1981 – 1990.....	98
Figura 5.4. Velocidad media del viento período 1981 – 1990.....	99
Figura 5.5. Rosa de los vientos anual de Bahía Blanca período 1981 – 1990.....	100
Figura 5.6. Diagrama ombrotérmico de la ciudad de Bahía Blanca para el período 1991 – 2000.....	101
Figura 5.7. Viento estacional de Bahía Blanca período 1991 – 2000.....	102
Figura 5.8. Velocidad media del viento período 1991 – 2000.....	103
Figura 5.9. Rosa de los vientos anual de Bahía Blanca período 1991 – 2000.....	103
Figura 5.10. Velocidad del viento media mensual.	104
Figura 5.11. Valores medios de días con vientos superiores o iguales a 43 km/h.....	105
Figura 5.12. Diagrama ombrotérmico de la ciudad de Ingeniero White.....	108
Figura 5.13. Velocidad del viento media mensual..	109
Figura 5.14. Valores de ráfagas máximas.....	109
Figura 5.15. Viento estacional de Ingeniero White período 2005 – 2009.....	110
Figura 5.16. Velocidades medias del viento de Ingeniero White período 2005 – 2009.....	111
Figura 5.17. Rosa de los vientos anual de Ingeniero White período 2005 – 2009.....	112
Figura 5.18. Días más lluviosos. La línea azul muestra el promedio de los valores máximos.....	113
Figura 5.19. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 00 Z.....	117
Figura 5.20. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 12 Z.....	118
Figura 5.21. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 18 Z.....	119
Figura 5.22. Carta del tiempo del 13 de octubre de 2002: 12 Z.	120
Figura 5.23. Distribución de eventos meteorológicos. Años 1990 – 2009.....	121
Figura 5.24. Relación de precipitaciones máximas con eventos de inundación, Sudestadas y grandes pleamares. Período 1990 – 2007.	122
Figura 6.1. Ubicación de la carta H-259 del Servicio de Hidrografía Naval.....	128
Figura 6.2. Parte de la carta H-259 del Servicio de Hidrografía Naval	129
Figura 6.3. Esquema de nivel de mareas.....	129
Figura 6.4. Cálculo de una marea para un instante prefijado.	130
Figura 6.5. Variación relativa del nivel medio del mar en el estuario de Bahía Blanca.....	132
Figura 6.6. Promedios diarios de altura marea en Ingeniero White. Año 2002.	133
Figura 6.7. Valores mensuales de altura de marea en Ingeniero White. Año 2002.	134

Figura 6.8. Valores diarios de máxima y mínima altura de marea y amplitud de marea.	135
Figura 6.9. Marea del mes de enero. Año 2002.	135
Figura 6.10. Marea del mes de febrero. Año 2002.	136
Figura 6.11. Marea del mes de mayo. Año 2002.	136
Figura 6.12. Fluctuaciones de la marea real y pronosticada. Enero 2002.	138
Figura 6.13. Fluctuaciones de la marea real y pronosticada. Febrero 2002.	138
Figura 6.14. Velocidad media del viento y altura media de marea. Enero 2006.	139
Figura 6.15. Altura de marea del mes de enero de 2006.	140
Figura 6.16. Velocidad media del viento y altura media de marea. Febrero 2006.	141
Figura 6.17. Altura de marea del mes de febrero de 2006.	141
Figura 6.18. Velocidad media del viento y altura media de marea. Abril 2006.	143
Figura 6.19. Altura de marea del mes de abril de 2006.	143
Figura 6.20. Velocidad media del viento y altura media de marea. Diciembre 2006.	145
Figura 6.21. Altura de marea del mes de diciembre de 2006.	145
Figura 6.22. Velocidad media del viento y altura media de marea.	147
Figura 6.23. Altura de marea del 12 al 31 de julio. Año 2006.	147
Figura 6.24. Máximas y mínimas alturas de marea para el período 1915 – 2002.	150
Figura 6.25. Altura de marea 20 de julio de 1996.	151
Figura 6.26. Altura de marea 3 y 4 de abril de 1997.	152
Figura 6.27. Altura de marea 18 de abril de 2001.	152
Figura 6.28. Altura de marea 26 de mayo de 2001.	153
Figura 6.29. Altura de marea 26 y 27 de agosto de 2002.	154
Figura 6.30. Altura de marea 31 de agosto de 2002.	155
Figura 6.31. Altura de marea 13 de octubre de 2002.	155
Figura 6.32. Altura de marea 10 de noviembre de 2002.	156
Figura 6.33. Altura de marea en Ingeniero White, Torre Mareográfica y Puerto Belgrano.	157
Figura 6.34. Altura de marea 13 de enero de 2007.	158
Figura 7.1. Zonificación del área de estudio según el Código de Planeamiento Urbano.	164
Figura 7.2. Uso actual de la tierra. Año 2010.	166
Figura 7.3. Detalle ampliación área delimitada en la figura 7.2. Año 2010.	167

Figura 7.4. Crecimiento de la urbanización para el año 1937.....	169
Figura 7.5. Crecimiento de la urbanización para el año 1967.....	170
Figura 7.6. Crecimiento de la urbanización para el año 1986.....	171
Figura 7.7. Crecimiento de la urbanización para el año 1991.....	172
Figura 7.8. Crecimiento de la urbanización para el año 1996.....	173
Figura 7.9. Crecimiento de la urbanización para el año 2005.....	174
Figura 7.10. Superficie urbanizada en los distintos años.....	175
Figura 7.11. Ubicación de delegaciones y sociedades de fomento en el área de estudio.	176
Figura 8.1. Modelos de sumideros.	180
Figura 8.2. Ubicación de conductos pluviales, canales a cielo abierto, sumideros y alcantarillas.	187
Figura 8.3. Detalle ampliación área delimitada en la figura 8.2.	188
Figura 8.4. Ubicación de la red cloacal en el área de estudio.	190
Figura 8.5. Cartografía de calles asfaltadas, tierra y empedrado.	193
Figura 8.6. Relaciones <i>intensidad, duración y frecuencia</i> para Bahía Blanca.....	200
Figura 8.7. Ubicación del canal proyectado y de las posibles estaciones de bombeo.	212
Figura 9.1. Detalle ubicación figura 9.2.....	214
Figura 9.2. Cartografía de la infraestructura en zona portuaria.	215
Figura 9.3. Cartografía representativa de los grados de peligrosidad.	218
Figura 9.4. Cartografía representativa de los grados de exposición.	220

Índice de tablas

Tabla 4.1. Número de segmentos de los diversos órdenes jerárquicos.	78
Tabla 4.2. Relación de Bifurcación para las cuencas de estudio.....	81
Tabla 4.3. Longitud media de los cursos por orden y relación de longitud.....	82
Tabla 4.4. Valor del área ocupada por las cuencas de estudio.	83
Tabla 4.5. Datos de orden de jerarquización, pendiente y superficie de todas las subcuencas.	87
Tabla 5.1. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación período 1991 – 2000.	100
Tabla 5.2. Clasificación del período mensual en función de la precipitación.....	106
Tabla 5.3. Gráfica de distribución de niveles de precipitación mensual.	107
Tabla 5.4. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación período 2005 – 2009.	108
Tabla 5.5. Eventos destacados de inundación en Ingeniero White.	114
Tabla 6.1. Alturas de marea. Año 2002.....	134
Tabla 6.2. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, enero 2006.	140
Tabla 6.3. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, febrero 2006.....	142
Tabla 6.4. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, abril 2006.	144
Tabla 6.5. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, diciembre 2006.	146
Tabla 6.6. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, julio 2006.....	148
Tabla 7.1 Superficies ocupadas por las distintas zonas según el Código de Zonificación.....	162
Tabla 8.1. Coeficiente de escorrentía y superficie de los distintos usos para la sub-cuenca 2.....	194
Tabla 8.2. Período de retorno, duración e intensidad de lluvia.....	201
Tabla 8.3. Cálculo de caudales para un período de retorno de 5 años.	202
Tabla 8.4. Resultados obtenidos de cálculos de conductos y canales.	204
Tabla 8.5. Números de Curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II)..	207
Tabla 8.6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método del SCS.	208
Tabla 8.7. Cálculo de CN para el área de estudio. Valor ponderado..	208
Tabla 8.8. Valores de CN y S para toda la cuenca en las 3 condiciones de humedad.	208
Tabla 8.9. Precipitación efectiva o neta para distintos valores de precipitación total.....	209
Tabla 8.10. Precipitación efectiva o neta para distintos valores de precipitación total según las condiciones del suelo.	209

XVIII

Tabla 9.1. Categorización de los distintos grados de exposición.	221
Tabla 9.2. Categorización de la exposición según los distintos colores.	221

Índice de fotografías

Fotografía 1.1. Efectos de la Sudestada en calles de Ingeniero White. Fecha: 21 de abril 1976.	10
Fotografía 1.2. Esquina de Cabral y Tarija. Fecha: 6 de setiembre de 1991.	11
Fotografía 1.3. Avenida Cabral de Ingeniero White. Fecha: 18 de setiembre de 1992.	12
Fotografía 1.4. Calle Cárrega esquina Plunkett. Fecha: 21 de julio de 1996.	13
Fotografía 1.5. Calle Cabral esquina Avenente. Fecha 15 de junio de 1997.	15
Fotografía 1.6. Bulevar Juan B. Justo. Fecha: 21 de abril de 2001.	16
Fotografía 1.7. Efectos de la Sudestada en calles de Ingeniero White.	17
Fotografía 2.1. Instrumental GPS utilizado en la campaña, con detalle de la controladora.	32
Fotografía 2.2. Estación Permanente Bahía Blanca ubicada en la terraza de la UNS,	37
Fotografía 2.3. Zanja abierta detallada en la figura 2.8.	52
Fotografía 3.1. Vista aérea de Ingeniero White.	75
Fotografía 6.1. Avenida Sargento Cabral en Ingeniero White, 21 abril de 2001.	153
Fotografía 6.2. Muelle whitense el 10 de noviembre de 2002.	158
Fotografía 6.3. Calle Guillermo Torres esquina Cárrega.	159
Fotografía 7.1. Zona Industrial 3 y Fotografía 7.2. Zona Industrial 1.	163
Fotografía 8.1. y Fotografía 8.2. Sumideros de cordón sobre avenida Cabral.	181
Fotografía 8.3. y Fotografía 8.4. Sumideros: metálico y de hormigón.	181
Fotografía 8.5. y Fotografía 8.6. Sumideros combinados de cordón y de cuneta con reja.	182
Fotografía 8.7. y Fotografía 8.8. Sumideros: de cordón y combinado con reja sobre vereda.	182
Fotografía 8.9. Canal a cielo abierto ubicado al sureste del barrio 26 de Setiembre.	184
Fotografía 8.10. y Fotografía 8.11. Cabecera del canal Profertil y alcantarilla sobre ruta.	186

PARTE 1

En este apartado se realiza una reseña de los antecedentes existentes y se muestra el estado actual del conocimiento detallando el área de estudio. Se expone la justificación del tema elegido y el planteo de la hipótesis de trabajo y de los objetivos que guiaron esta investigación. El marco teórico y metodológico integra también esta sección.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes el hombre buscó asentarse en lugares que le permitieran una salida rápida al mar, para comercializar sus productos y relacionarse con otras culturas. Es así que la ciudad de Bahía Blanca encontró su lugar a pocos kilómetros del Océano Atlántico, en su salida a través del estuario. Emplazada al sur de la provincia de Buenos Aires se halla situada en pleno paisaje pampeano o de llanura. Vecina a ella se encuentra la ciudad de Ingeniero White, que le da nombre a uno de los principales puertos de ultramar del país.

El ferrocarril constituyó el primer pilar del crecimiento de este puerto, para transformarse luego en un lugar de desarrollo comercial que ofrecía la salida hacia otros espacios a través del mar. La creación del puerto dio lugar al aumento de distintos asentamientos, ya sea de viviendas como de fábricas, industrias, lugares para esparcimiento y de servicio, construyéndose las primeras redes de desagües pluviales para el drenaje de áreas pequeñas. Lo que en un principio era tierra virgen, fue poco a poco perdiendo esa identidad y se fue transformando en un espacio que evolucionó sin planificación.

La hidrología de este paisaje de llanura es un aspecto importante y único a estudiar. El escaso desnivel es el protagonista y el emplazamiento del hombre sobre este espacio es el modificador permanente de las distintas cuencas. Las cuencas hidrológicas de un centro urbano requieren del análisis de muchos factores y de la intervención de distintas disciplinas.

Los distintos grupos humanos que se ubicaron así en la zona sur de la ciudad de Bahía Blanca, comenzaron a sufrir uno de los inconvenientes propios de la falta de planificación: el anegamiento de los barrios, que a su vez, trajo aparejado otros problemas sociales: discusiones vecinales por los escurrimientos de agua, derivación no planificada de recursos en forma equivocada por parte de los municipios para la solución de estos problemas, etc. Las mareas altas y las lluvias importantes favorecieron a las inundaciones que se hicieron más frecuentes, sufriendo los habitantes del lugar estos sucesos.

Para llevar a cabo la gestión adecuada de estas redes es necesaria la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de los servicios de control del agua de lluvia en el área urbana y suburbana. Deben considerarse además, otras variables involucradas que se relacionan con aspectos del orden político, económico y social.

La utilización de técnicas provenientes de sensores remotos, combinadas con una diversidad de datos e información mediante la aplicación de la tecnología de los TIG (Tecnologías de la Información Geográfica) es hoy una herramienta invaluable en los distintos estudios. Se utilizan aquí estas técnicas para abordar la problemática de los sistemas de desagües pluviales urbanos desde una perspectiva geográfica que afronte el problema desde un punto de vista espacial. El manejo de las redes de desagües pluviales tratado desde esta perspectiva pone en evidencia las estrechas relaciones interdependientes que existen entre los diferentes elementos que conforman la hidrología urbana. El estudio es de gran importancia para Bahía Blanca e Ingeniero White debido a los inconvenientes que provocan las inundaciones. Con el crecimiento de la población, el problema se fue agravando como consecuencia de la construcción de nuevos barrios y/o emprendimientos que afectaron la permeabilidad de los suelos y el normal escurrimiento de las aguas. Existe en la actualidad un gran interés municipal por solucionar este problema local.

La problemática no ha sido científicamente abordada en estudios geográficos de la localidad de Ingeniero White. Es por ello que el tema de tesis constituye un aporte original a los problemas de inundaciones y anegamientos urbanos que afectan no solamente a los bienes materiales, sino también al hombre en todo su contexto. El avance del agua sobre estas poblaciones es un fenómeno, que si bien no ocurre todos los años, actúa despojando historias y afectos.

1.1. Antecedentes y estado actual del conocimiento

La experiencia de trabajos de hidrografía aplicada a las problemáticas urbanas es abundante a nivel internacional. El uso de las herramientas como los SIG y técnicas de sensores remotos han invadido los distintos campos de la ciencia y su aplicación en el estudio de los drenajes urbanos no ha quedado al margen.

Gnabandith (1997) aplicó estas técnicas en el manejo de los sistemas de drenajes urbanos ofreciendo un mapa temático aplicado a la ciudad Vientiane de Laos; Sawaya (2003) trabajó en el monitoreo de coberturas de agua con imágenes de satélites de alta resolución en Swan Lake, Nicollet County, Minnesota, Estados Unidos. Elgy (2001) utilizó fotografías aéreas en la diferenciación de usos del suelo y aplicaciones en SIG en la zona de West Midlands en Inglaterra. La variedad de estudios se halla vinculada al área de trabajo y a la geografía del lugar donde es empleado, es por ello que no existe uniformidad en las metodologías utilizadas, ellas se ajustan a la necesidad del paisaje elegido, aplicando

distintas técnicas para la solución de problemas hídricos (Drogue *et al.*, 2002; Joo-Hyung *et al.*, 2002; Van der Sande *et al.*, 2003).

Los trabajos en esta temática son estudiados desde la disciplina propia de cada autor, brindando en la mayoría de los casos un enfoque técnico (Schmugge *et al.*, 2002) o agronómico (Nie *et al.*, 2002) sin considerar al hombre en el estudio de los mismos. Simonović (1999) evaluó costos cuantitativos y cualitativos a través de un SIG aplicado a la cuenca del río Rojo en Canadá incorporando los costos sociales y psicológicos que acarrear las inundaciones.

Oñate-Valdivieso y Bosque Sendra (2007) estudiaron las características morfométricas de cuencas naturales, a través de modelos digitales de elevación e imágenes Aster. Los SIG fueron su herramienta en el estudio de la hidrología urbana de una ciudad de Venezuela (Oñate-Valdivieso, 2006).

Muchos autores han hechos estudios en nuestro país sobre inundaciones urbanas pero sin aplicar técnicas de información geográfica (Riccardi, 1997; Orsolini *et al.*, 2000; Gabazza y Ruberto, 2007). Greco (2005) estudió las inundaciones en la ciudad de Buenos Aires a través de sus problemáticas ambientales. Yurkievich (2005) lo hizo en Mar del Plata, integrando tres factores fundamentales como el clima, la geología y la actividad antropogénica. Bianucci (2002) elaboró criterios de selección para cuencas urbanas en la zona del Chaco y analizó los grados de inundación que sufre un área urbana de la ciudad de Resistencia - Chaco con el fin de brindar soluciones en los momentos de emergencia por inundaciones.

Andrade (2005 y 2007) estudió el riesgo hídrico en una amplia zona de la región pampeana aplicando un sistema de información geográfica y herramientas de teledetección en la identificación de variables ambientales. En la provincia de Santa Fe, el gobierno de esa provincia trabajó en curvas de riesgo hídrico, volcando toda su información en un SIG. El trabajo fue llevado adelante por un numeroso grupo de profesionales y técnicos del Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua (Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua, 2006).

Natenzon (2003, 2004) trabajó el concepto de inundaciones desde la óptica del riesgo y la vulnerabilidad social y estudió la cuenca hidrográfica desde las distintas dimensiones como son la peligrosidad, la vulnerabilidad y la incertidumbre elaborando planes de contingencia. Barros *et al.* (2006) trabajaron imágenes de radar y analizaron la vulnerabilidad de la costa de la ciudad de Buenos Aires por el efecto de las inundaciones

dentro del contexto del cambio climático, analizando entre otros temas, las mareas en la costa del Río de la Plata. Irurzun y Zirulnikoff (2004b) utilizaron un sistema de información geográfica apoyado en imágenes satelitales y fotos aéreas para estudiar cómo interactúan diversos elementos relacionados con la hidrometeorología y diseñar estrategias de previsión de inundaciones en la ciudad de Buenos Aires.

Es importante destacar en esta instancia, la diferencia entre inundación y anegamiento explicada por Ferrando Acuña (2006). El autor define inundación como una masa de agua que sale de su cauce temporalmente y provoca un desequilibrio entre el volumen hídrico a evacuar y la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje. A diferencia del anegamiento, que lo asocia a la acumulación temporal de aguas lluvias en una determinada porción de territorio. Cuando conjugan ambos, el impacto socioeconómico aumenta, como también las consecuencias.

La Organización de Estados Americanos (1993) elaboró un documento - guía para el manejo de peligros naturales en el contexto de una planificación para el desarrollo integrado, basado en la experiencia acumulada por esta organización. En él se detallan las herramientas y técnicas para la elaboración de soluciones en la evaluación de los peligros naturales. El uso de la fotografía aérea como sensor remoto y los SIG son fundamentales en esta tarea.

El área de trabajo de esta tesis ha sido estudiada ampliamente por varios investigadores en sus diversos aspectos geomorfológicos, geológicos y climáticos. Estos trabajos forman parte del marco teórico de esta tesis. A las fuentes bibliográficas consultadas, se le incorporaron los informes técnicos y cartografía elaborados por diversas instituciones nacionales, provinciales y municipales así como también información periodística y entrevistas, que reflejan la repercusión en la opinión de la población de las sucesivas inundaciones que afectaron al sector. La incorporación de esta información de características multidisciplinarias a través de un SIG constituye una novedad aplicada a la zona de estudio.

1.2. Área de estudio

El área de estudio comprende un amplio sector de aproximadamente 6 km² que drena sus aguas al frente costero. En cercanías de la ciudad de Bahía Blanca en la provincia de Buenos Aires, se halla ubicado el puerto de Ingeniero White, a pocos kilómetros del Océano Atlántico, emplazado en los 38° 44' 06'' de latitud Sur y 62° 14' 02'' de longitud

Oeste en contacto con el estuario de Bahía Blanca. La localidad de Ingeniero White, donde se encuentra este importante puerto de aguas profundas, está ubicada a 7,5 km de la ciudad de Bahía Blanca. La concesión del puerto para su construcción y explotación le fue otorgada al Ferrocarril del Sud en 1883, al año siguiente llegó el primer tren a Bahía Blanca y al puerto y en 1885 fue habilitado el primer muelle (Zingoni, 1996).

A mediados del siglo XIX el área de estudio era un inmenso cangrejal de fuertes vientos y grandes mareas, rodeado de terrenos bajos e inundables a la menor lluvia. Junto al mar, sin arena ni playas, sobresalían profundos canales de la bahía con un lecho de arcilla junto a manchones blancos “plateados” del salitre de sus costas que se hallaban casi desnudas de vegetación.

Allí el Ferrocarril del Sud habilitó el 26 de setiembre de 1885 su primer muelle, fecha en que se considera día de la fundación del pueblo de Ingeniero White (<http://www.soydewhite.com.ar/historia.htm>). Esta población se desarrolló entonces a través de una rica variedad de inmigrantes: griegos, italianos, croatas, españoles, ingleses y criollos que se mezclaban y no compartían el idioma pero sí el amor al mar y al puerto.

En 1969 el gobierno de la provincia de Buenos Aires, designó a la ciudad de Bahía Blanca, *polo de desarrollo*. Se presentaron empresas extranjeras con un proyecto para instalar una Industria Petroquímica, que fue aprobado en 1971. Recién en 1977 comenzaron las obras y en noviembre de 1981 se concretó la puesta en marcha de una planta básica de Petroquímica Bahía Blanca (Bróndolo *et al.*, 1994).

Toda la zona se fue poblando de industrias y empresas que buscaron este centro como punto de salida a través de los puertos. Algunas de ellas han construido hoy sus propios muelles. El Polo Petroquímico creció junto al Parque Industrial, ambos linderos al área de estudio.

A la ya nombrada Petroquímica Bahía Blanca se le sumó la instalación de otras empresas: Dow Chemical, Polisor, Cargill, TGS, Indupa, Profertil, MEGA, etc. Toda la zona constituye actualmente un centro portuario y petroquímico que en pocos años incrementó la infraestructura de caminos de acceso, redes de servicios y la incorporación de conjuntos habitacionales de viviendas.

El puerto de Ingeniero White allí emplazado, es apto para operaciones de carga y descarga de cereales así como de subproductos y de cargas generales. Fue uno de los puertos de crecimiento más rápido en el litoral bonaerense (Bróndolo *et al.*, 1994). A pocos

metros de él se halla Puerto Galván, importante puerto de combustibles líquidos y gaseosos utilizado por muchas de las grandes empresas afincadas hoy en el Polo Petroquímico.

Las posibilidades de evacuación de los excesos de agua pluviales en la ciudad de Bahía Blanca, presentan actualmente tres caminos: arroyo Napostá Grande, canal Maldonado y el frente litoral Atlántico. El arroyo Napostá Grande es el escurrimiento natural de mayor magnitud. Sobre su margen izquierda se emplazan los desagües pluviales que drenan las aguas colectadas por calles principales de la zona norte de la ciudad. Sobre la margen derecha del arroyo confluyen tres importantes sectores entre los que se destaca la zona céntrica y la zona suburbana de la ciudad. Estos caudales originan severos problemas aguas abajo del curso entubado. Un segundo camino de escurrimiento es el canal Maldonado al norte de la ciudad donde confluyen las aguas de una única colectora de desagües pluviales.

El último camino del agua en la ciudad de Bahía Blanca es la zona vinculada con el frente litoral Atlántico y que corresponde al área de estudio de esta tesis (Fig. 1.1). Esta zona involucra al sector sureste de la ciudad y se relaciona con barrios y villas periféricas. El principal problema de esta área deriva de la topografía caracterizada por pendientes casi nulas con desarrollo de grandes bajos inundables y una notoria dificultad para el drenaje de las aguas hacia el mar. El contacto con el estuario y sus mareas somete al área a recurrentes inundaciones en los sucesivos eventos de Sudestada. Esta situación deficitaria del escurrimiento se agrava aún más como consecuencia de la presencia de las rutas de acceso a puertos, de las vías férreas y de la urbanización que se ha incrementado en el transcurso de los años (Aldalur *et al.*, 2005).

Existen constantes problemas de anegamiento que la convierten sin lugar a dudas en el área menos desarrollada de las tres que drenan en los caminos de escurrimiento mencionados. Su infraestructura se conforma por algunos canales construidos a cielo abierto y otros desagües que han solucionado parcialmente las serias dificultades de escurrimiento que padece el sector. De problemas observados se desprende la necesidad de llevar a cabo una planificación tendiente a definir cuáles son las medidas de prevención más adecuadas y dónde deben ubicarse los puntos de control de escurrimiento dentro de los límites del área de estudio.

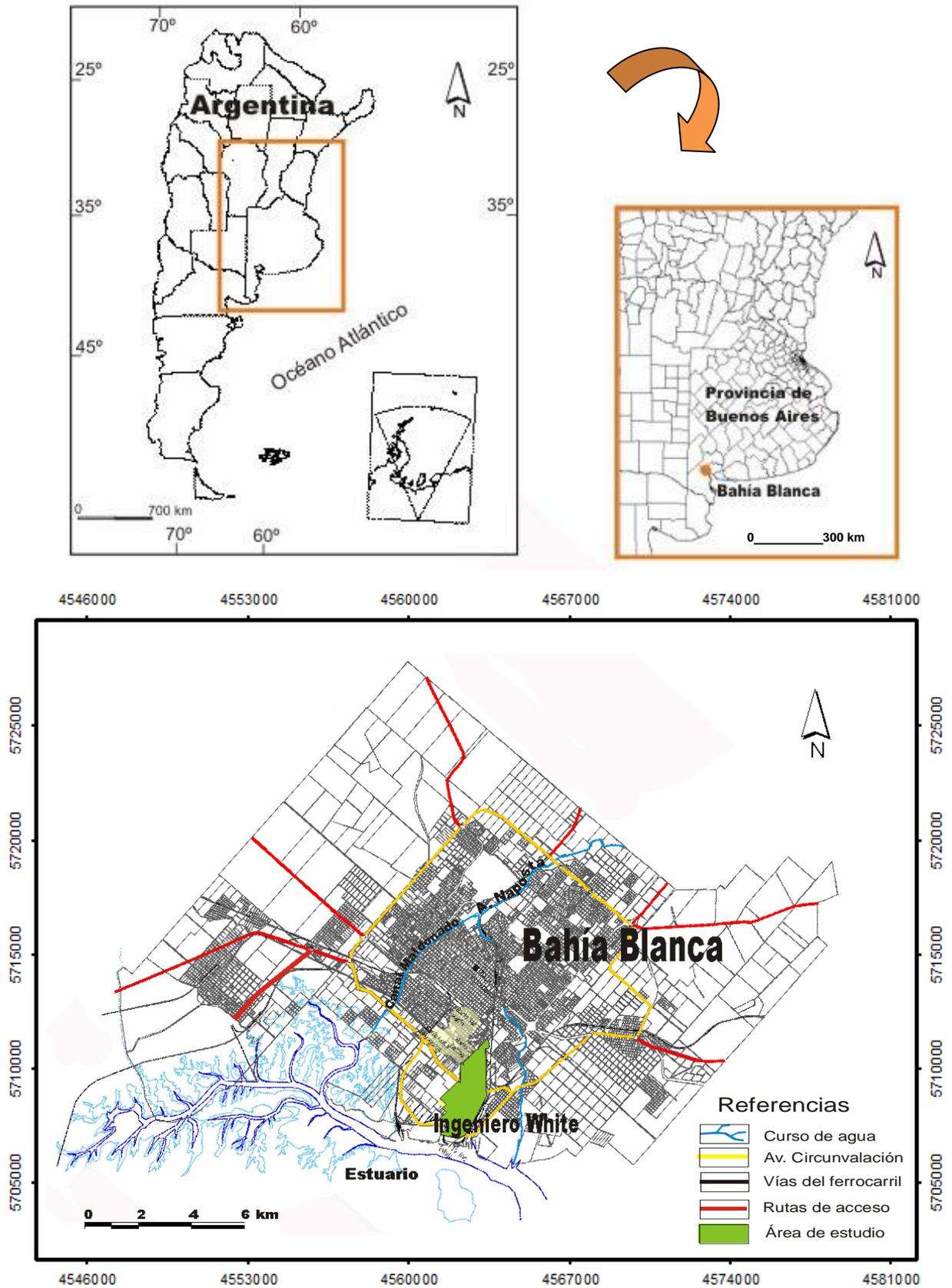


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.
 Elaboración propia sobre la base del plano vectorial de la
 Municipalidad de Bahía Blanca. Año 2009.

1.3. Inundaciones en Ingeniero White: frecuencia de sucesos y lugares afectados

La lista de acontecimientos que marcan a la zona de estudio como un lugar afectado repetidas veces por la falta de escurrimiento rápido del agua es numerosa. La prensa local reitera la noticia a lo largo de los años, acusando siempre días de fuertes vientos, con tormentas importantes, lluvias de altos registros y Sudestadas o la conjunción de varios de ellos. Las historias se van repitiendo a lo largo de los años y en el diario pueden leerse testimonios de habitantes afectados y relatos de daños causados por los distintos acontecimientos.

En el año 1934, el diario de la ciudad de Bahía Blanca relataba que una fuerte marea sorprendió a la población de Ingeniero White en las últimas horas de la noche cubriendo sus aguas las zonas bajas e inundando completamente muchas arterias (La Nueva Provincia, 6 de febrero de 1934). En el año 1976 se leía: *“Se tienen registros de una violenta sudestada que azotó el complejo portuario de Bahía Blanca dejando a su paso destrucción y desolación. El saldo dejado fue: 20 casas arrasadas, varias anegadas y grandes pérdidas. La lluvia caída fue de 87,2 mm y se registraron vientos del sudeste con ráfagas que llegaron hasta los 125 km/h. Pobladores de la zona del Bulevar Juan B. Justo y de las calles Cárrega, Brown, Rubado, Siches, Mascarello y Guillermo Torres en Ingeniero White y de sectores cercanos a la cancha del Club Comercial debieron ser evacuados (Fotografía 1.1) (Fig. 1.2). La rotura del terraplén de la vía que une White con la estación Bahía Blanca Noroeste, pasando por Galván, provocó que el agua no tuviera contención y continuara su avance hasta el sector poblado. La ruta Galván – White fue inundada en sus alrededores debido a que las dos mareas se juntaron”* (La Nueva Provincia, 21 de abril de 1976).

Un diario de otra fecha rememora estos dos días, 19 y 20 de abril de 1976, cuando muchos whitenses vivieron horas amargas al manifestarse esta Sudestada: sectores cercanos a la cancha del club Puerto Comercial tenían cerca de 50 centímetros de agua (La Nueva Provincia, 21 de julio de 1996). Aún hoy un habitante entrevistado recuerda que el agua alcanzó los 50 cm en Av. San Martín y llegó a casi a un metro en Av. Vélez Sarsfield (Fig. 1.2). En otras oportunidades el efecto de pleamares muy altas sumadas a las precipitaciones intensas y fuertes vientos del Sur imposibilitaba el ingreso a la ciudad por el anegamiento de las calles y avenidas de acceso.

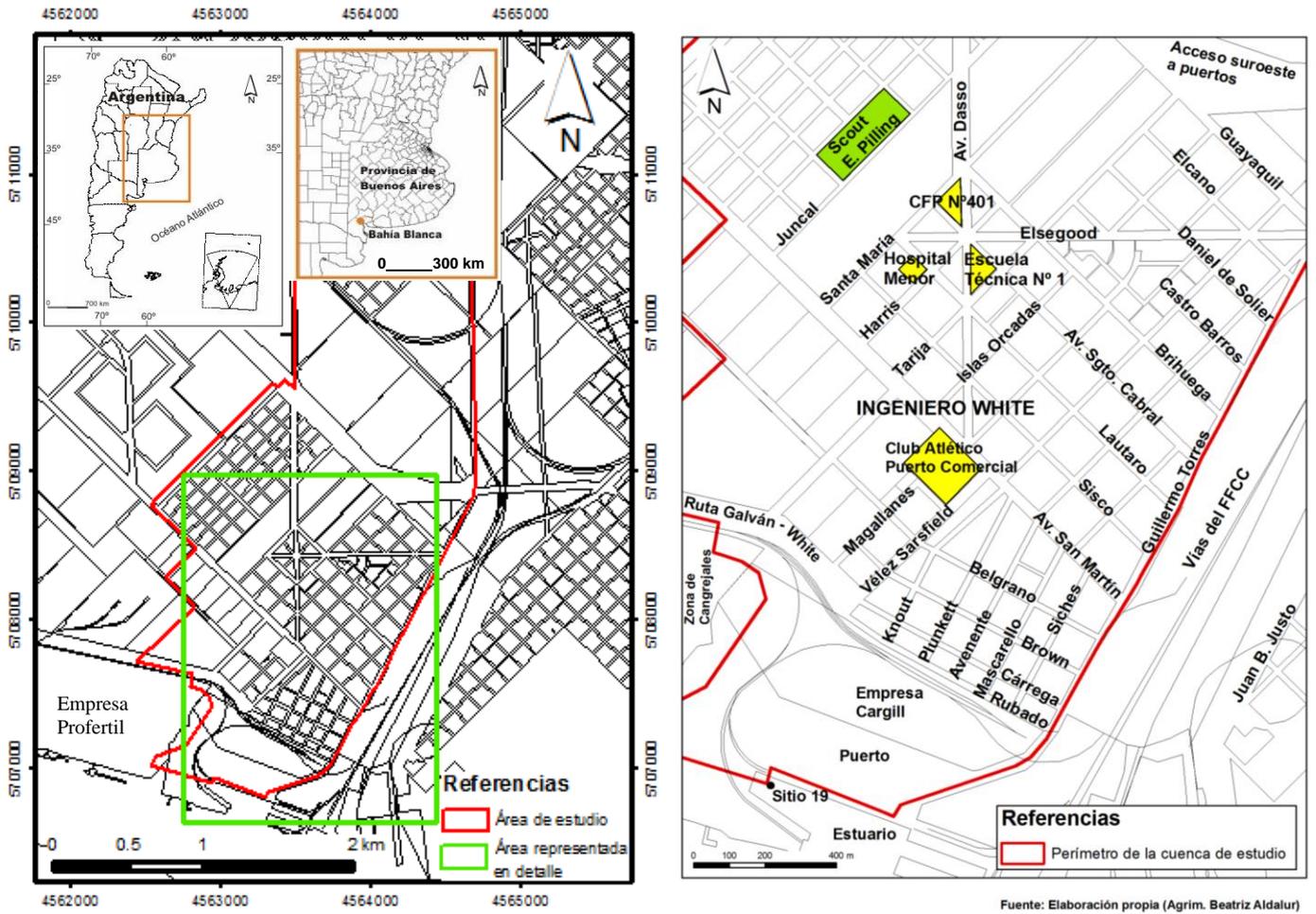


Figura 1.2. Ubicación de calles e instituciones mencionadas en el ítem 1.3



Fotografía 1.1. Efectos de la Sudestada en calles de Ingeniero White. Fecha: 21 de abril 1976.
Fuente: La Nueva Provincia.

En mayo de 1977, el diario bahiense manifestaba: *“Una intensa sudestada ocasionó inconvenientes en diversos sectores de Ingeniero White. El viento predominante fue del Sur. La máxima intensidad de crecida se registró al producirse la pleamar, (17hs) y la velocidad de los vientos alcanzó los 70 km/h. La marea llegó hasta la calle Rubado cubriendo la calzada y las veredas. El líquido finalmente canalizó por Vélez Sarsfield hacia Cárrega. Los terrenos adyacentes al camino que une Ingeniero White con Puerto Galván se hallaban totalmente inundados. El mayor peligro se preveía hacia la repetición de la pleamar”*. La marejada llegó hasta calle Rubado, cubriendo totalmente la calzada y canalizando sus aguas a cielo abierto y veredas e inundando también calle Vélez Sarsfield y continuando hacia Cárrega (La Nueva Provincia, 16 y 17 de mayo de 1977) (Fig. 1.2).

En marzo de 1980 se repite el fenómeno. Se registraron 112,8 mm y la población de Ingeniero White sufrió el anegamiento de varias calles y viviendas. Hubo familias evacuadas debido a cortocircuitos provocados por el agua que electrificaron las paredes, constituyendo un problema de extremo peligro (La Nueva Provincia, 5 de marzo de 1980). Ante la imposibilidad de permanecer en sus hogares inundados, varias familias fueron alojadas en el hospital (La Nueva Provincia, 6 de marzo de 1980).

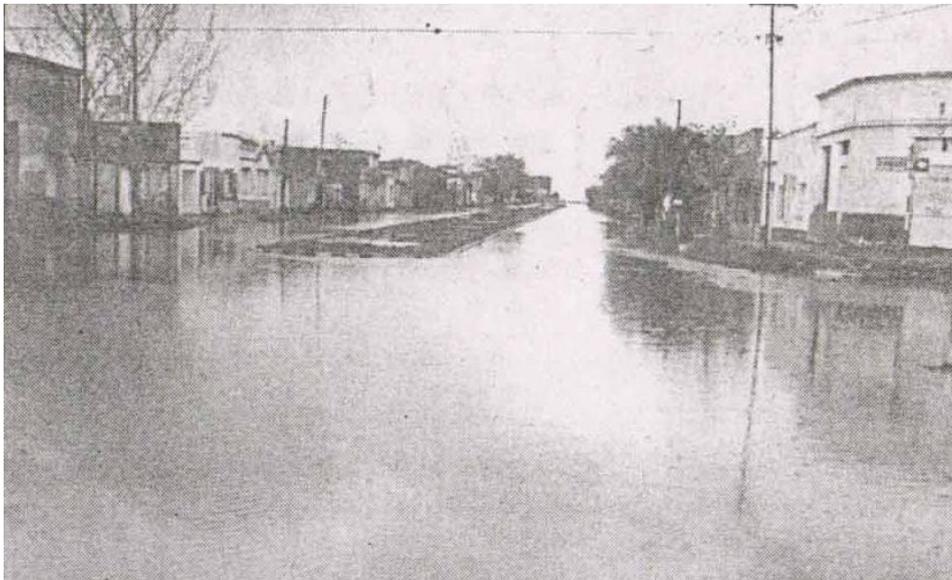
La prensa local mostró así en diversas oportunidades la gravedad de los daños que ocasionaron la conjunción de Sudestadas y pleamares en la ciudad portuaria. La esquina de las calles Cabral y Tarija era un mar de agua testimoniado en una fotografía del diario local, sufriendo las peores consecuencias la zona que circunda a la Escuela Técnica N° 1 (La Nueva Provincia, 6 de setiembre de 1991) (Fotografía 1.2) (Fig. 1.2).



**Fotografía 1.2. Esquina de Cabral y Tarija. Fecha: 6 de setiembre de 1991.
Fuente: José López para La Nueva Provincia.**

En décadas sucesivas las inundaciones provocadas por las lluvias, vientos y mareas no sólo no pudieron ser controladas sino que generaron aún más inconvenientes. En el año 1992 las autoridades municipales analizaban todavía las causas por las cuales estas inundaciones anegaban y aislaban a la población de toda una ciudad. Las fuentes consultadas afirmaron *“que la pleamar registrada en la noche en la ría local, podría haber demorado el escurrimiento de las aguas”*. La autoridad Municipal de aquella época expresaba al diario los factores que a su entender frenaban el rápido escurrimiento de las aguas como por ejemplo ser una zona muy plana con muy poco declive, tener una capacidad limitada de los desagües pluviales o que las obras realizadas en los últimos años impedían que la tierra absorba el agua con rapidez (La Nueva Provincia, 19 de junio de 1992). El fenómeno se repitió en el mismo año, cuando la lluvia superó los 100 mm dejando varias arterias inundadas, siendo así la segunda vez en el año que la zona sufría la invasión de las aguas (La Nueva Provincia, 18 de setiembre de 1992).

En muchos casos, las arterias afectadas fueron cerradas al tránsito en momentos de picos de máxima inundación para evitar el anegamiento de viviendas con el paso de los vehículos, dado que el nivel de las aguas se encontraba en ese momento prácticamente sobre las veredas y en previsión de que las aguas ocultaran algún pozo demasiado profundo. Esto fue lo sucedido en las calles Plunkett, Magallanes, Avenente, Lautaro, Siches y Cabral, entre otras (La Nueva Provincia, 18 de junio de 1992) (Fotografía 1.3) (Fig. 1.2).



**Fotografía 1.3. Avenida Cabral de Ingeniero White. Fecha: 18 de setiembre de 1992.
Fuente: Oscar Altamirano para La Nueva Provincia.**

El año 1994 no quedó fuera de esta cronología: *“La calle Sargento Cabral fue nuevamente afectada a la altura del 3600, la arteria se encontraba intransitable”* (La Nueva Provincia, 15 de noviembre de 1994). En el año 1996 el diario exhibía fotografías de otro acontecimiento donde las aguas sitiaron la ciudad. Una Sudestada generó que el agua brotara por los sumideros. El delegado de Ingeniero White sostuvo que *“las aguas ingresaron por los 3 desagües pluviales”* que tiene la localidad (La Nueva Provincia, 21 de julio de 1996). Los sectores más afectados por la crecida del nivel del mar fueron: calle Rubado desde Vélez Sarsfield hasta Guillermo Torres y esquina de Cárrega y Plunkett así como varios tramos de esta última y de las calles Avenente y Mascarello (Fotografía 1.4). Otros lugares que sufrieron la acumulación de agua fueron Guillermo Torres y Cárrega, Siches y Av. San Martín, Brown y Knout y Mascarello y Brown, lugares donde precisamente se encuentran los sumideros que facilitaron el acceso de las aguas provenientes del mar. Una vivienda ubicada en Rubado y Knout fue parcialmente anegada (La Nueva Provincia, 21 de julio de 1996) (Fig. 1.2).



**Fotografía 1.4. Calle Cárrega esquina Plunkett. Fecha: 21 de julio de 1996.
Fuente: Oscar Altamirano para La Nueva Provincia.**

Con el pasar de los años se desprende de la lectura de los diarios que esta problemática se incorporó a la población como parte de su folklore urbano. Es lamentable leer: *“Una sudestada provocó el desborde del agua de mar y anegó varias calles en Ingeniero White. Como en otras oportunidades el fenómeno se caracterizó por la entrada del agua de mar a través de las bocas de tormenta. El fenómeno es característico en esta zona, y aún no se le ha encontrado solución. El delegado whitense explicó al diario que el sistema de desagües es muy antiguo y está construido con canales a cielo abierto”* (La Nueva Provincia, 4 de abril de 1997). Los inconvenientes surgieron en la calle Rubado, entre Avenente y Vélez Sarsfield, en las esquinas de Cárrega y Guillermo Torres, San Martín y Siches, Brown con Marcarello y con Knoutt, entre otros sectores. El fenómeno característico de la localidad portuaria se notó principalmente en la avenida Vélez Sarsfiel, entre Brown y Cárrega donde se formó una laguna (La Nueva Provincia, 4 de abril de 1997) (Fig. 1.2). En esta misma fecha el agua de mar logró superar la compuerta de contención ubicada en la zona de Cangrejales que sirve como desembocadura de los conductos pluviales de la localidad portuaria.

Las manifestaciones de los pobladores reiteran los problemas del lugar cuando nuevamente en 1997 se suceden similares acontecimientos a los ya expuestos. *“Nos llega mucho agua y no alcanza a desagotarse en forma rápida”*. La esquina de Sargento Cabral y Avenente fue la más castigada en el temporal de junio de 1997 (La Nueva Provincia, 15 de junio de 1997) (Fig. 1.2).

En julio de 1997 se repitió el fenómeno y el diario lo relataba de esta manera: *“En el acceso principal por avenida Dasso, comenzaban las postales. Al 3500 en diagonal a la intersección con Elsegood, cerca del Centro de Formación Profesional (CFP) N° 401, la cancha quedó preparada para la disputa de un water- soccer”* (La Nueva Provincia, 14 de julio de 1997) (Fotografía 1.5). El mismo diario continúa su relato: *“la obstrucción de los desagües pluviales fue cómplice de la sepultura que recibió el pavimento, entre el 3300 (Plunkett) y el 3500 (Avenente) de Cabral, como otro símbolo de un tiempo pasado por agua...”* (Fig. 1.2).

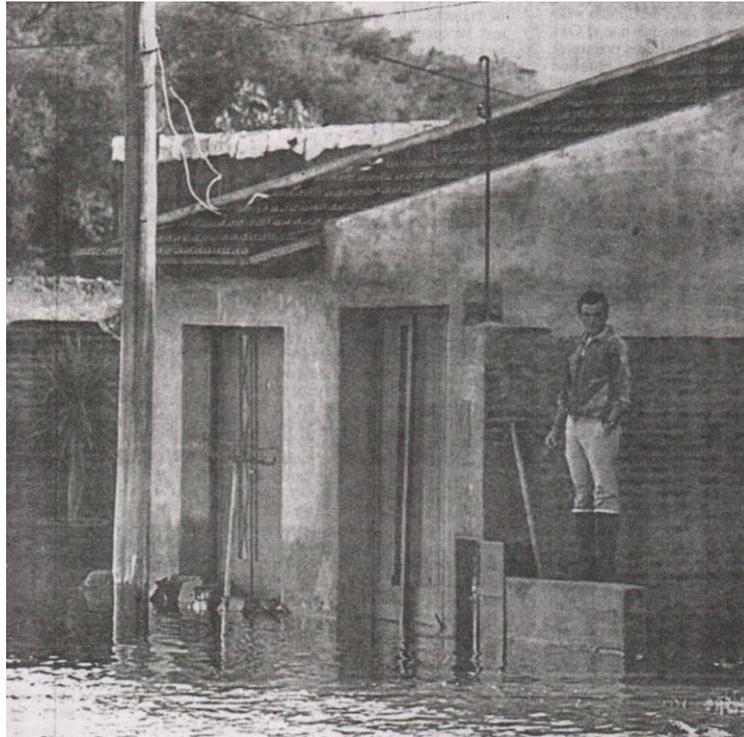
El delegado municipal vuelve a manifestarse en otro acontecimiento y expresa al diario local que *“los desagües pluviales se tapan con la basura de las calles: botellas, latas, bolsas y otros elementos.....cada vez que llueve estamos con el corazón en la boca”* La avenida Sargento Cabral, especialmente el tramo que va de Magallanes a Guillermo Torres, constituyó la zona más conflictiva (La Nueva Provincia, 21 de marzo de 1999) (Fig. 1.2).



**Fotografía 1.5. Calle Cabral esquina Avenente. Fecha 15 de junio de 1997.
Fuente: Oscar Altamirano para La Nueva Provincia.**

El año 2001 no quedó al margen de estos sucesos. Varios sectores de la localidad registraron el agua hasta una altura de 60 cm. Los bomberos se ocuparon de desagotar casas y el funcionario municipal expresaba: *“Los desagües están funcionando bien, pero hay que esperar, la cantidad de agua caída superó todas las previsiones y el sistema resultó insuficiente”* (La Nueva Provincia, 20 de abril de 2001). El relato del diario fue más que elocuente: *“Con la ayuda de dos jóvenes mormones, el hombre colocaba bolsas de tierra en la puerta de su vivienda en Santiago Dasso y Juncal”*. Esta vez el Hospital del Menor ubicado en Lautaro y Harris fue inundado completamente. Un vecino de calle San Martín al 3000 fue evacuado junto con sus 6 hijos a la escuela de Ingeniero White (La Nueva Provincia, 19 de abril de 2001). En esta fecha hubo unas 180 personas evacuadas, algunas fueron llevadas al predio de la agrupación scout “Don Ernesto Pilling” de la localidad portuaria. Muchos vecinos permanecieron en sus hogares por temor a los robos. Uno de los damnificados domiciliado en calle Sargento Cabral 3947 dijo que *“su Fiat 600 estaba flotando en el agua”*, ésta fue una de las calles más anegadas (La Nueva Provincia, 21 de abril de 2001) (Fotografía 1.6) (Fig. 1.2). En esta oportunidad se recibió ayuda del Servicio de Salvamento de la Armada y del Servicio de Salvamento y Protección del Medio Ambiente.

En el año 2001 se lee sobre la presentación de un proyecto de ley para que se le extienda la aplicación de la ley 10.390 de Desastres Agropecuarios a toda persona física y jurídica, cualquiera sea su constitución legal y actividad, que resida en la zona de Ingeniero White. Dicha ley prevé declarar el estado de emergencia en zonas que se vean afectadas por factores de origen climático, telúrico, físico o biológico que no fuesen previsibles o que, siéndolo, fuesen inevitables y que por lo tanto, afectaren la capacidad de producción (La Nueva Provincia, 22 de abril de 2001).



**Fotografía 1.6. Bulevar Juan B. Justo. Fecha: 21 de abril de 2001.
Fuente: Rodrigo García para La Nueva Provincia.**

En el año 2002 la localidad portuaria sufrió en varias oportunidades las consecuencias de la lluvia. El “casco viejo” de Ingeniero White (básicamente entre las calles San Martín y Brihuega, desde Dasso hasta Guillermo Torres) se vio así afectado en cada suceso de tormenta. El uso de bombas por parte de la delegación municipal y de los bomberos permitió brindar soluciones de urgencia, como es el caso de la avenida Cabral que aseguraban los vecinos, fue bombeada en varias oportunidades (La Nueva Provincia, 29 de agosto de 2002). El mes de setiembre volvió a recibir las aguas y los habitantes de Ingeniero White cerraron las calles para evitar que los vehículos inunden sus viviendas, las cloacas rebalsaron. “*Con el paso de los años, los problemas siguen presentes...*” y las autoridades otra vez reconocieron que la zona creció con la incorporación de infraestructura,

de pavimento, viviendas, etc. provocando que la salida de las aguas hacia el mar sea más lenta (La Nueva Provincia, 1 de setiembre de 2002). El fenómeno se repitió el 13 de octubre del 2002 donde la zona más afectada fue la calle Sargento Cabral y calles adyacentes Brihuega, Magallanes e Islas Orcadas. Una vecina manifestó *“que los vecinos de la calle Guillermo Torres, entre Castro Barros y Sargento Cabral y la siguiente, llegando a Lautaro están como ellos, inundados”* (La Nueva Provincia, 14 de octubre de 2002) (Fig. 1.2). Un mes después, un temporal en la región afectó nuevamente la zona. La existencia de fuertes vientos del Sur provocaron que el agua de mar ingresara al pueblo a través de los 3 desagües pluviales que cuenta la localidad (La Nueva Provincia, 11 de noviembre de 2002) (Fotografía 1.7). *“El año 2002 fue para los bahienses, un año pasado por agua”*. En la localidad de Ingeniero White, el temporal del 26 de agosto, hizo que *“las casas ubicadas en el sector céntrico llegaran a tener 40 cm de agua, situación que impulsó al delegado municipal a amenazar con dejar el cargo si no se disponía la urgente concreción de obras hidráulicas que solucionen el problema”*. En 40 horas llovieron 200 mm (Nueva, 22 de diciembre de 2002).



Fotografía 1.7. Efectos de la Sudestada en calles de Ingeniero White.

Fecha: 11 de noviembre 2002.

Fuente: Néstor Malaspina para La Nueva Provincia.

Cuando el evento de inundación se conjuga con fuertes ráfagas de viento, el agua de mar ingresa en el pueblo, como explicaba el delegado municipal, *“a través de los tres desagües pluviales importantes: el que atraviesa la planta de Profertil; el que sale en la avenida Guillermo Torres, hasta Cabral y el restante por Rubado ...las autoridades de la delegación como los bomberos voluntarios whitenses decidieron el corte de las calles*

Cárrega, en distintos tramos, y Rubado” (La Nueva Provincia, 11 de noviembre de 2002) (Fig. 1.2).

En el año 2006 el licenciado Miguel Ángel Rodríguez, miembro de la Sociedad de Fomento, manifestaba que *“White sigue siendo vulnerable a las grandes lluvias. Los desagües no se han completado. Pasa el tiempo y las obras no están”* (La Nueva Provincia, 15 de enero de 2006). El fenómeno se reiteró en 2007 y en el diario local se leía: *“La naturaleza, por enésima vez, se encargó de poner al descubierto la precariedad de las bocas de desagüe. La pleamar empujada por el fuerte viento, produjo el ingreso del agua por las bocas de tormenta”,* así lo explicaba el guardia de Defensa Civil. Luego se lee *“uno de los sectores afectados fue el ubicado en la intersección de Almirante Brown y Mascarello anegando un sector de aproximadamente cincuenta metros en cada una de las calles”*. Aquí nuevamente se cortó el tránsito para que el agua no entrara a las viviendas (La Nueva Provincia, 14 de enero de 2007) (Fig. 1.2).

El 29 de julio del 2009 una marea inundó los sectores ubicados en la zona de cotas más bajas en Ingeniero White. El agua entró por los desagües pluviales debido a que la marea alcanzó un valor de 5,30 metros (La Nueva Provincia, 30 de julio de 2009). Fue un día en que soplaron leves vientos del Sur. Y si bien no fue importante la inundación, hubo que cortar el tránsito de vehículos para que el agua no entrara en las viviendas al paso de los mismos. Es esa oportunidad no se registraron lluvias. El área inundada en la zona portuaria, fue la intersección de las calles Rubado y Guillermo Torres; Cárrega y Guillermo Torres; Brown y Mascarello; Guillermo Torres y Sisco; Brown y Siches, y Mascarello y Cárrega (La Nueva Provincia, 29 de julio de 2009) (Fig. 1.2).

En cada ocurrencia, fueron las acciones rápidas de los Bomberos Voluntarios de Ingeniero White y de General Cerri, de la policía, del personal de la delegación de Ingeniero White, de Defensa Civil y de la Prefectura Naval Argentina, los que ayudaron en la evacuación de las personas afectadas, que en la mayoría de los casos fue llevada al Hospital Menor de Ingeniero White y a la Escuela de Educación Técnica N° 1 (La Nueva Provincia, 19 de abril de 2001) (Fig. 1.2). En otros casos ellos proveyeron ropa de abrigo, alimentos y asistencia médica en el lugar. La caída de árboles sobre la calzada, voladura de carteles, cortes de cables de energía y teléfono es una rutina en estos sucesos donde el agua es la protagonista, agua que colmata la capacidad de desagote de cañerías, techos, patios, cloacas y canaletas comprometiendo la tranquilidad de vastos sectores de la localidad. Sobre la base de los relatos históricos analizados se delimitó un área que recurrentemente se inunda. En la figura 1.3 se representaron las calles que desde 1934 hasta nuestros días, soportaron acontecimientos como los relatados.



Figura 1.3. Representación cartográfica de los lugares más afectados por inundación y anegamientos en la ciudad de Ingeniero White.

Existe en la actualidad un estudio de toda la cuenca por parte del municipio de Bahía Blanca, confeccionado para mejorar los desagües pluviales. Sin embargo, los embates de la naturaleza siguen provocando estos hechos en la localidad portuaria; hechos que comprometen los aspectos sociales, económicos y emocionales de los grupos humanos que habitan el lugar. Considerando las causas que provocaron estos relatos históricos y que fueron explicadas a través del diario local, se contabilizaron 6 eventos de inundación por lluvias, 6 por mareas y Sudestadas, 3 por tormentas y 7 por conjunción de algunas de estas causas en el período 1934 - 2009.

1.4. Justificación del tema elegido

El crecimiento urbanístico que tuvo la zona, sumado al mal encauzamiento de las aguas, ocasionaron reiterados sucesos de inundaciones que tuvieron como lugar crítico la zona céntrica de la localidad de Ingeniero White. Es importante estudiar estos hechos, que se repitieron en diversas oportunidades por diferentes causas, desde el punto de vista geográfico. El estudio de una cuenca urbana en el aspecto físico, donde se manifiestan estos fenómenos, agrega un nuevo enfoque si es estudiada desde la ciencia geográfica.

La inundación y anegamiento es una realidad recurrente. El transcurso del tiempo no hizo más que dejar latente un problema que sigue sin tener solución concreta. El factor climático es uno de los hechos desencadenantes más importantes en esta temática que se combina con las características morfométricas de la cuenca (pendiente media, superficie, alturas) y con la capacidad que tiene toda el área de retener el agua. La influencia del crecimiento urbanístico, con todo lo que ello implica (incremento de aguas de lluvia a los colectores pluviales, aumento de desechos en los canales a cielo abierto, falta de mantenimiento de ambos, caducidad en el tiempo, transporte de sedimentos desde las partes altas) aumenta la probabilidad de que si se conjugan varios de estos factores, la situación alcance dimensiones de alto riesgo para la población lugareña.

El hombre incorpora construcciones a lo natural (alcantarillas, sumideros, bocas de tormenta, cordones cuneta, terraplenes, conductos, etc.) que logran mejorar el lugar donde habita pero que también se imponen como limitaciones para el escurrimiento del agua, la cual ya no circula libremente por el terreno natural, sino que va siguiendo el camino marcado por el hombre. Los materiales utilizados provocan un cambio en la permeabilidad de los suelos. El asfalto y el adoquín de las calles, los techos de las viviendas e industrias, las playas de estacionamiento, quitan la rugosidad natural de los suelos, aumentando la velocidad de los escurrimientos. Estas superficies impermeables, impiden el movimiento del

agua desde la superficie hacia las capas internas; se reduce la infiltración, percolación y escurrimiento subsuperficial y subterráneo.

Los diferentes residuos arrojados por el hombre, el escaso mantenimiento de esta infraestructura y los sedimentos naturales sueltos fruto de los distintos movimientos de suelos funcionan como obstáculos e impedimentos para el recorrido del agua. En resumen, el análisis de las causas, climáticas y antropogénicas, los efectos provocados y las zonas más proclives a sufrirlas, el peligro de ocurrencia del fenómeno y la evaluación del proceso de inundación fueron los puntos más importantes que motivaron a llevar adelante esta tesis.

1.5. Hipótesis de trabajo

La importancia que revisten estos estudios desde una disciplina como la Geografía y las problemáticas expresadas precedentemente dieron origen a la elaboración de la hipótesis de trabajo que guió esta investigación.

El estudio de los drenajes urbanos en la localidad de Ingeniero White mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) permite encontrar nuevas soluciones a los problemas de inundaciones y anegamientos allí existentes.

1.6. Objetivos de la investigación

Conforme a lo expresado el objetivo general es desarrollar el estudio de la hidrología urbana de Ingeniero White mediante la aplicación de las TIG, para establecer criterios de planificación y gestión de la red de desagües pluviales.

Los objetivos específicos son los siguientes:

Delimitar el área hidrográfica urbana y suburbana. La definición precisa del área permitirá generar el mapa base que se utilizará como referencia para integrar toda la información temática necesaria.

Relevar la información cartográfica existente. Para ello se llevará a cabo el estudio de pendientes, topografía, suelos, catastro, redes de desagües pluviales y/o canales, red cloacal, etc.

Actualizar la información mediante la aerofotointerpretación y el trabajo de campo.

Establecer las características morfométricas de la cuenca de drenaje, en especial pendiente media, superficie y alturas. Se estudiarán las relaciones entre los diferentes procesos hídricos.

Analizar las características del uso actual de las tierras y el uso proyectado de las mismas en relación con los problemas de origen hídrico que se desarrollan en el área de estudio con la finalidad de contribuir en la planificación del uso del suelo.

Definir la incidencia que tienen algunos factores, como por ejemplo: altura de mareas, áreas anegadas, posibilidad de reutilización del agua de lluvia, etc. en la problemática estudiada.

Establecer los distintos aspectos que interactúan en el área de Ingeniero White y zona de influencia para definir soluciones tentativas en el sector y proponer estrategias de control del sistema (estaciones de bombeo, estanques de retención, disipadores de energía, sumideros, etc.).

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) conforman actualmente herramientas indispensables para los análisis técnicos que afectan espacios territoriales y particularmente en la toma de decisiones de los sectores políticos y en general de los que administran un territorio. Las Geotecnologías o TIG son un conjunto de herramientas que facilitan la recolección, manejo y análisis de diferentes datos. Las TIG incluyen entre otras herramientas a los SIG, la Teledetección, los Sistemas de Posicionamiento Global¹ (GPS) y las herramientas de Internet como el Google Earth (Chuvieco *et al.*, 2005; Ehrensperger *et al.*, 2007; Gentili y Gil, 2009). Las TIG apoyan nuevas formas de investigación de diversas disciplinas especialmente de las asociadas con las Ciencias de la Tierra (Rodrigo Hidalgo *et al.*, 2004). Estas tecnologías digitales ofrecen muchas aplicaciones siendo el SIG la herramienta que las engloba y por medio de la cual se realizan análisis socioespaciales con el fin de dar soluciones a las problemáticas de gestión y planificación territorial (Buzai y Baxendale, 2006).

Los SIG han cumplido así un rol muy importante en la integración de estas tecnologías. El desarrollo de los SIG se ha apoyado en las innovaciones realizadas en diferentes disciplinas: geografía, cartografía, fotogrametría, teledetección, topografía, geodesia, estadística y ciencias de la computación entre otras (Foote y Lynch, 1995). Buzai (2008) define el concepto de Geoinformática como toda aplicación computacional destinada al tratamiento de datos geográficos donde la tecnología SIG es el núcleo al tomar el lugar central.

Una condición esencial en el uso de un SIG es contar con información confiable, la cual necesita que la estructura geométrica que sustenta todo el sistema se ajuste a la realidad, se mantenga continuamente actualizada y exista una total claridad del sistema de referencia en el que se apoya (Del Cogliano *et al.*, 1998). En este sentido, la utilización del SIG constituye una herramienta de gran capacidad debido a que las entidades representadas en los diferentes mapas pueden relacionarse con bases de datos que contengan informaciones específicas de acuerdo con el tipo de cartografía (Di Croche *et al.*, 1999b). El SIG permite interrelacionar toda la información que se recopile, posibilitando un adecuado manejo de la misma y brindando la posibilidad de efectuar análisis espaciales adecuados. La potencialidad de los SIG está fundada en su capacidad para superponer capas de distinta información (Buzai, 2008).

1. Se conserva la sigla en inglés, GPS (Global Positioning System)

Moldes Teo (1995: 1) define a un SIG o GIS (Geographic Information System) como “*un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos organizados en base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas*”. Hasta aquí se podría decir que con sólo instalar un programa informático que reúna las características de un SIG estaría en condiciones de tener uno. La realidad es que un SIG deber reunir además de los equipos informáticos y programas, un conjunto de datos y personal especializado que sepa acceder con eficacia a los datos geográficos. Lillesand y Kiefer (1994: 38) definen a un GIS como “*un sistema de hardware, software, de base de datos, personas, organizaciones y planes institucionales que son utilizados para recolectar, almacenar, analizar y diseminar información sobre áreas de la tierra*”. Burrough y MacDonnell (1998) lo definen como un poderoso conjunto de herramientas que permiten también recolectar, almacenar, recuperar, transformar y mostrar datos espaciales del mundo real según sea el propósito y el objetivo buscado. Los datos geográficos representan: a) fenómenos del mundo real en términos de posición con respecto a un sistema de coordenadas conocido, b) atributos relacionados a esa posición y c) interrelaciones espaciales entre los datos que describen la forma en que se vinculan con otros. En este sentido, la utilización del SIG constituye una herramienta de gran capacidad debido a que las entidades representadas en los diferentes mapas pueden relacionarse con bases de datos que contengan informaciones específicas de acuerdo con el tipo de cartografía.

La gestión de los recursos hídricos, a través del uso de la herramienta SIG, constituye un trabajo al cual se le puede asignar una gran cantidad de atributos geográficos. Dicho recurso está absolutamente asociado al espacio natural y al espacio económico.

Algo sumamente importante en la planificación y elección de un SIG es la elección de las coordenadas con que se georreferenciarán cada capa. Preferentemente se deben elegir sistemas compatibles con las cartas topográficas usadas normalmente. Cada capa debe estar georreferenciada en el mismo sistema elegido, si no fuese así no se podría luego planificar ni integrar información. El hecho de estar en coordenadas universales hace que cualquier base de datos que se halle en el mismo sistema, se integrará sin inconveniente a lo ya diagramado.

Es importante aclarar previamente algunos conceptos muy utilizados en la práctica de construcción de un SIG:

Marcos y sistemas de referencia: La ubicación de todo punto en el espacio requiere de la definición de un sistema de coordenadas que configure una herramienta que permita establecer de la manera más precisa y de acuerdo con los requerimientos, la forma, la

dimensión y la ubicación de un sector de la superficie terrestre. Las áreas pueden variar de decenas de metros cuadrados a valores mayores como por ejemplo un barrio, una región, un país. Por ello la determinación de la posición espacial de puntos que configuren el área de trabajo es de gran importancia ya que la forma será tanto más precisa cuanto mayor sea la densidad y la calidad de los puntos seleccionados. En la topografía como en la geodesia, en el aspecto geométrico, el punto es la unidad generadora de la superficie terrestre (Huerta *et al.*, 2005).

Para fijar coordenadas de los puntos se pueden considerar las coordenadas cartesianas ortogonales x , y , z donde hay 3 ejes ubicados ortogonalmente en el espacio o coordenadas geográficas, que corresponden a las denominadas latitud, longitud y altura (f , l , h). Ambas configuran un sistema de referencia. A su vez las coordenadas geográficas pueden ser geodésicas o elipsóidicas (apoyadas en el elipsoide) o astronómicas (apoyadas en el geoide).

La superficie de referencia donde ubicar el sistema puede ser el geoide o el elipsoide. El geoide es la superficie de nivel del campo gravitatorio que coincide con el nivel medio de los mares en estricto equilibrio a través de toda la superficie terrestre (Ferrario de Urriza, 2000). Huerta *et al.* (2005) lo definen como superficie horizontal o superficie de nivel o superficie equipotencial del campo de gravedad a aquella que en todos sus puntos es normal a la dirección de la vertical del lugar. La vertical del lugar coincide con la dirección de la gravedad en cada punto, definiendo al geoide como la superficie de nivel que mejor se ajusta al nivel medio del mar. La propiedad común de todas estas superficies de nivel es considerar que si se deposita sobre ellas una partícula de agua, ésta no sufrirá ningún desplazamiento. La altura medida en cada punto tomando al geoide como superficie de referencia, es la denominada altura sobre el nivel del mar que sigue la línea de la plomada o de la gravedad. Al ser el geoide una superficie asimétrica e irregular sobre el cual no es factible efectuar cálculos de distancia, se ha elegido un modelo matemático que se asemeja al geoide y que conforma un elipsoide de revolución. La forma y dimensión del elipsoide queda determinado por dos parámetros de la elipse: el semieje mayor y el semieje menor, además se debe definir su ubicación y orientación.

Así para cada sistema de referencia geodésico se tendrá asociado un elipsoide de revolución, que brinda las coordenadas geográficas elipsóidicas o geodésicas (latitud, longitud y altura). Esta altura respecto al elipsoide de revolución es la altura que brindan los receptores GPS, ya que conforman la perpendicular al elipsoide en cada punto.

Tanto las coordenadas cartesianas como las geográficas son distintas formas de representar la posición espacial de un punto. Las dos superficies geoide – elipsoide que pueden tomarse como referencia sufren de una separación en cada punto representado, ya que las mismas no son coincidentes. La separación mencionada se denomina N (ondulación del geoide u ondulación geoidal).

Si bien normalmente se empleaba el vocablo “sistemas de referencia”, en los últimos años ha surgido la denominación de “marco de referencia”. Existe una diferencia en lo que configura un sistema de referencia y un marco de referencia y no se los debe tomar como sinónimos. Un sistema de referencia geodésico elipsoidal, es un modelo teórico matemático que asigna coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Existen así los sistemas locales y globales, según se busque el ajuste lo mejor posible a sólo una región, país, grupos de países o continentes (Ferrario de Urriza, 2000). La denominación de “datum geodésico” define el tamaño y forma de la superficie tomada como forma de referencia y el origen y orientación del sistema de coordenadas usado.

Un marco de referencia geodésico es la materialización del sistema sobre la superficie de la tierra. En forma práctica, un sistema de referencia se materializa a través de una red de mojones geodésicos ubicados sobre la superficie terrestre a los que se le han asignado coordenadas, las que están sujetas a diferentes errores (instrumentales, personales, etc.) surgidos de la precisión en la medición y que configuran el denominado marco de referencia. Por lo expuesto, es fácil deducir que a un mismo sistema de referencia le pueden corresponder más de un marco, fruto de la materialización de dicho sistema en los distintos países.

La Argentina posee en la actualidad como marco oficial de referencia a Posgar 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas) basado en el sistema de referencia geocéntrico WGS84 (World Geodetic System 1984) adoptado por el Instituto Geográfico Militar (IGM)² en el año 1997. Esta red está conformada por puntos uniformemente distribuidos en todo el territorio nacional, fueron medidos con tecnología GPS en el año 1993 y 1994. Tienen una precisión media estimada en 1 ppm.

Las cartas topográficas más antiguas confeccionadas por el IGM se encuentran apoyadas en el sistema local que constituye el elipsoide matemático de referencia internacional de Hayford 1924 (ubicando el punto de tangencia en la localidad de Campo Inchauspe) marco de referencia denominado Campo Inchauspe 69. Se proyectaron luego al sistema de proyección Gauss Krüger, proyección isogónica o conforme que conserva la

2. El IGM pasó a denominarse Instituto Geográfico Nacional (IGN) por Decreto Presidencial Nº 554/2009 del 14/05/2009.

similitud en figuras pequeñas ubicadas en la superficie terrestre, es decir igualdad en los ángulos. Si bien posteriormente el IGM confecciona las cartas de imagen satelitaria con imágenes del satélite Landsat 5 – TM (Thematic Mapper) del año 1996 – 1997, las trabajadas en Campo Inchauspe 69 son más precisas, ya que se realizaron sobre levantamientos fotogramétricos en el año 1965 – 1966.

Se define también Posgar 98, marco que surge de un ajuste y recálculo de los anteriores y que asegura precisiones centimétricas aún en levantamientos muy extensos y es, desde todo punto de vista, más apropiado para todo levantamiento que exija control vertical a niveles centimétricos (Brunini *et al.*, 2000). Las coordenadas del marco Posgar 94 fueron publicadas a comienzo de 1995 y adoptadas oficialmente por el IGM en mayo de 1997. Las coordenadas Posgar 98 fueron difundidas a fines de 1998. Esta nueva realización supera significativamente en exactitud y precisión a su antecesora, Posgar 94 (Brunini *et al.*, 2002). No obstante ello, el IGM continúa con Posgar 94.

Durante la escritura de esta tesis y por Disposición N° 1266 del 23 de junio de 2010 el Ministerio de Infraestructura de la provincia de Buenos Aires adoptó a partir del 1 de julio de 2010 la utilización del nuevo Marco de Referencia Geodésico Nacional Posgar 07. El IGN lo puso en vigencia a partir del 15 de mayo de 2009 por Disposición N° 20.

Es posible el pasaje entre un marco de referencia y otro, dado que existen 7 parámetros: tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala que las relaciona. En el mercado hay diversidad de programas dedicados a realizar esta tarea.

Sistema Global de Navegación por Satélite: El Sistema Global de Navegación por Satélite³ (GNSS) es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre. A través de la recepción de estas señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra, el instrumento ofrece automáticamente coordenadas latitud, longitud y altura y mediante cálculos en gabinete se pueden determinar las coordenadas geográficas (elipsóidicas) más precisas de cualquier punto. El GPS de los Estados Unidos de América es uno de los ejemplos de estos sistemas que brinda coordenadas únicas, globales y precisas.

El sistema matemático utilizado para las mediciones con GPS es el WGS84. Es un sistema global de referencia, definido por un modelo físico matemático (elipsoide), parámetros y constantes, materializado a través de un conjunto de estaciones que forman el

3. Se conserva la sigla en inglés, GNSS (Global Navigation Satellite System).

marco de referencia con sus coordenadas y las variaciones de éstas con el tiempo (Ferrario de Urriza, 2000). Este sistema responde a las siglas de World Geodetic System 1984, definido y mantenido por la Defence Mapping Agency (DMA) de los Estados Unidos. Las coordenadas generadas por este sistema se denominan geográficas elipsóidicas: latitud, longitud y altura elipsóidica.

La metodología de trabajo empleada fue el uso de técnicas derivadas del análisis de información proveniente de sensores remotos como son las fotografías aéreas y su combinación con datos obtenidos a través de la aplicación de la tecnología de los SIG. El sistema geodésico elegido fue Campo Inchauspe 69, en él se representaron las coordenadas geográficas elipsóidicas proyectadas luego a Gauss Krüger, dado que la cartografía editada y utilizada actualmente se halla en ese sistema. Se trabajó con alturas referidas al sistema WGS84 y sobre la base del modelo geoidal elaborado por la Universidad Nacional de La Plata (Perdomo y Del Cogliano, 1999; Del Cogliano y Perdomo, 2001), se las transformó en alturas ortométricas, ya que Campo Inchauspe 69 no tenía alturas. Toda la información básica volcada fue planialtimétrica georreferenciada.

El SIG elegido fue ArcView 3.1 acompañado de los módulos Image Analysis y 3D Analyst. Se emplearon varias extensiones de libre adquisición a través de la web. Las fotografías aéreas georreferenciadas a escala 1:5.000 permitieron trabajar toda la base de la información a una escala grande. El SIG ENVI 4.7 fue el utilizado para la georreferenciación de las fotografías aéreas. Los modelos digitales de elevaciones se realizaron en un demo del programa Surfer 8. Para la salida cartográfica se empleó el SIG ArcView 9.1.

2.1. Bases de datos

La búsqueda bibliográfica, de antecedentes y la recopilación de diversas fuentes de datos cubrió la primera etapa de este trabajo. La información obtenida de las distintas reparticiones fueron las bases de las capas digitalizadas.

La planificación y elección del SIG cubrió la segunda etapa así como también la elección del sistema de referencia y la precisión con la que se quería obtener los resultados. Cada capa debía estar georreferenciada en el sistema elegido, para poder luego planificar e integrar información permitiendo así que cualquier base de datos que se halle en el mismo sistema, sea usada sin inconveniente y se adapte a lo ya diagramado. Una de las ventajas de trabajar con la herramienta SIG es la facilidad de mantener su vigencia mediante la actualización permanente de los datos.

La información recopilada en las distintas reparticiones públicas y privadas, fue la siguiente:

- ✓ Carta Topográfica del IGM 3963-17 en escala 1:100.000 efectuada sobre la base de levantamientos fotogramétricos de los años 1909 y actualizaciones del año 1937.
- ✓ Carta Topográfica del IGM 3963-17-1 en escala 1:50.000 apoyada en un levantamiento fotogramétricos de los años 1966-1967.
- ✓ Carta Hidrográfica H-259 apoyada en relevamiento aerofotogramétrico de 1970 del Servicio de Hidrografía Naval (SHN).
- ✓ Fotomosaicos de los siguientes años: 1941 a escala 1:15.000, 1956 a escala 1:25.000, 1970 a escala 1:20.000.
- ✓ Vuelos fotogramétricos realizados para el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca: 1986, 1990, 1996, 2000 y 2005 en escala 1:5.000. Vuelo año 1965 en escala 1:10.000.
- ✓ Datos de marea provistos por el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca y por la Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables, Delegación Bahía Blanca.
- ✓ Datos climáticos (lluvia, presión, vientos, temperatura, humedad) provenientes de la Estación Meteorológica localizada en Ingeniero White perteneciente al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur y datos extraídos de las publicaciones del Servicio Meteorológico Nacional.
- ✓ Cotas de alturas de los proyectos de cordón cuneta de toda la zona de estudio, provistos por el Departamento de Vialidad de la Municipalidad de Bahía Blanca, total 19 planos.
- ✓ Planos de mensura con cotas de altura, de los predios cercanos al Polo Petroquímico aprobados por la Dirección de Geodesia.
- ✓ Archivo vectorial de la planta urbana de la ciudad de Bahía Blanca a escala de manzana sin georreferenciar, realizado por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca.
- ✓ Archivos vectoriales con la delimitación de las cuencas, subcuencas, conductos y canales existentes en la localidad de Ingeniero White provistos por el Departamento de Vialidad de la Municipalidad de Bahía Blanca.
- ✓ Cartografía del tipo de suelos de la República Argentina provistos por Aeroterra – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Fundación ArgenINTA.
- ✓ Planos de proyectos de rutas provinciales con cotas de altura, de la Dirección de Vialidad Provincia de Buenos Aires.

- ✓ Plano de altimetría provisto por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca.
- ✓ Plano vectorial de la red cloacal provisto por Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA).
- ✓ Cartas del Tiempo del 10 de noviembre de 2002: 00 Z, 12 Z y 18 Z y 13 de octubre de 2002: 12 Z, provistas por la Armada Argentina, Central Meteorológica de la Base Aeronaval Comandante Espora (BACE).
- ✓ Entrevistas a informantes claves.

2.2. Relevamiento de puntos de control con instrumental GPS

Previo a la salida al campo, se analizaron las diferentes alternativas respecto a la ubicación de los puntos de control para ser usados en la posterior georreferenciación de las distintas fotografías aéreas. El error de relieve existente en los fotogramas verticales que no se hallaban restituidos, dificultó esta tarea. Se prefirió la elección de puntos en cruces de líneas municipales, que fueran visibles en la foto y que configuraran una distribución adecuada ya que la confiabilidad del resultado en el trabajo dependía de la precisión en la medición de los puntos de control en los que se apoyaba (Lillesand y Kiefer, 1994).

Los puntos de control debieron ser seleccionados en las fotografías aéreas de manera que se pudieran minimizar los errores. Debían cumplir con la doble condición de poder ser ubicados de manera precisa en la fotografía aérea y a su vez, ser aptos para la realización de una observación GPS. En este caso se encontró en el terreno que la ubicación planificada respondía a los lineamientos establecidos, ya que se contaba con fotografías aéreas actuales de la zona. Estos puntos seleccionados en gabinete fueron perfectamente ubicados en campaña.

2.2.1. Método de trabajo utilizado en la medición GPS

El relevamiento de los puntos de control se realiza en la actualidad con los GNSS. En el caso de estudio específicamente fue el GPS el instrumento utilizado. Se logró así una ubicación precisa de los puntos del terreno tanto en latitud y longitud como altura.

Para el relevamiento de los puntos de control, se utilizaron equipos GPS geodésicos Trimble 4800 de doble frecuencia. Se trabajó con el método del posicionamiento diferencial estático que es el método más adecuado para la medición de bases largas dado que las sesiones de observaciones largas permiten un cuidadoso tratamiento de los errores

sistemáticos (Perdomo *et al.*, 1998). Es un método cuya precisión variará en función del tiempo de observación, de la geometría de los satélites y del instrumental utilizado (Holanda Blas y Bermejo Ortega, 1998).

Esto significa que se trabajó simultáneamente con dos equipos posicionados sobre dos puntos que observan sincrónicamente los mismos satélites. Uno de los puntos fue la Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB) denominada punto base, que se encuentra emplazada sobre un punto cuyas coordenadas se conocen en forma precisa. El resto de los puntos cuyas coordenadas no se conocen y donde se va ubicando el equipo GPS se denominan puntos “rover” o remotos los cuales fueron elegidos previamente en las fotografías aéreas. El punto base elegido fue un punto fijo ubicado en la Universidad Nacional del Sur que se denomina VBCA (Vínculo Bahía Blanca) y está ligado a la Red Posgar. Aquí es donde surge lo que se denomina línea base, que es la línea recta que une el punto usado como referencia y el punto donde se ubicó el equipo GPS. Esta técnica de trabajo denominada posicionamiento diferencial o relativo permite, a través de un procesamiento posterior en gabinete y utilizando los archivos que provee la EPBB, cancelar los errores comunes a ambas observaciones (Ferrario de Urriza, 2000). Es decir, el punto relevado en campaña es un punto con coordenadas incógnitas y corregirá su coordenada con las coordenadas del punto base (dato) que funciona como punto de coordenadas precisas.

El posicionamiento diferencial o relativo utilizado requiere cumplir las siguientes condiciones: poseer dos o más receptores, seguimiento de los mismos satélites, simultaneidad de medición, medición sincronizada, uno de los puntos debe tener coordenadas conocidas (punto de referencia) y medición de distancias menores a 500 km (Huerta *et al.*, 2005).

Previamente a la salida a campaña se debió programar el instrumento. Esto implica que se le debieron incorporar parámetros de medición. Algunos de ellos son por ejemplo el parámetro que permite reducir el efecto multi path o multicamino, que surge cuando se posiciona el instrumento en una zona cercana a edificios, árboles, etc. Estas ubicaciones deben ser evitadas, pues causan múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite que se superponen a la señal directa provocando la distorsión de la onda (Holanda Blas y Bermejo Ortega, 1998). Igualmente se debe configurar el instrumento para que no capte estas señales bajas por lo que se tomó un ángulo de 15° medidos a partir del horizonte, lo que se denomina “*máscara de elevación vertical y horizontal*”. Se programó también para que tome señales con un intervalo de registro de 15 segundos al igual que los registros de la EPBB. Se evitó ubicar el receptor en cercanías a una línea de alta tensión ya que la misma

podría provocar la dispersión de la señal. La incorporación de los parámetros de medición también se puede realizar en el campo antes de iniciar el trabajo, para ello el instrumental tiene una controladora como se observa en la fotografía 2.1 que permite programar el GPS.



Fotografía 2.1. Instrumental GPS utilizado en la campaña, con detalle de la controladora.

Otro parámetro a introducir en la configuración del trabajo en campaña es el PDOP. DOP es la dilución de precisión (dilution of precision). En este caso PDOP está referido a la posición 3D de un punto (latitud longitud y altura) y se determina en función de las componentes horizontal y vertical. La geometría de los satélites visibles es un factor esencial a la hora de conseguir altas precisiones en el posicionamiento de un punto. Dicha geometría cambia con el tiempo como consecuencia del movimiento orbital de los satélites. Este dato de programación es importante ya que el instrumento, si bien captará señales cuando el PDOP sea un valor alto, está programado para computar sólo el tiempo en el cual el PDOP es menor o igual a 5 ya que considera que la geometría de los satélites en el cielo cuando es mayor, no es la mejor. En la práctica se trabaja con valores de PDOP menores a 5. Por lo que se programó el equipo para que la recepción de señal se encuentre dentro de un PDOP de 5.

El valor DOP para el PDOP puede ser interpretado geoméricamente como el volumen de un cuerpo formado por los satélites y el receptor. Cuanto mayor sea el volumen de ese cuerpo mejor será la geometría y por lo tanto menor será el valor del DOP siendo el mejor el de la unidad (Holanda Blas y Bermejo Ortega, 1998).

La corrección diferencial de cada punto se realizó en el post proceso con el programa Trimble Geomatic Office (TGO). Se trabajó con los archivos observados en campaña y bajados a la computadora y con los archivos que se generan en la EPBB, para el

día de la medición. El programa permite seleccionar los satélites que tienen mejor señal, acotar el tiempo de medición de cada uno de ellos y eliminar los que conllevan mayor error en la señal. En la figura 2.1 se observa el cielo en la pantalla de la computadora a través del TGO, en el procesamiento de datos de una de las campañas, con presencia de 9 satélites distribuidos uniformemente en la esfera celeste.

Se debió tener especial cuidado en las alturas incorporadas al procesamiento, ya que se debe incluir la altura en la que se encuentra la antena de la EPBB y la altura del trípode del GPS en cada punto, medida en campaña. Esta incorporación permite tener el dato de altura GPS en cada punto medido.

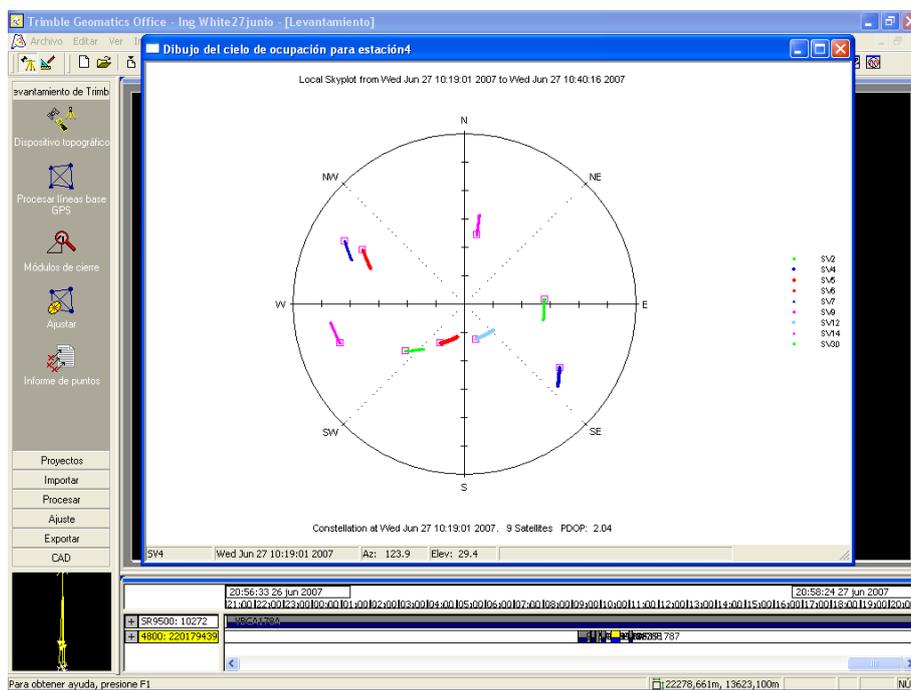


Figura 2.1. Dibujo del cielo en el TGO con presencia de 9 satélites, 27 de junio de 2007.

El período de tiempo específico durante el cual simultáneamente se hacen determinaciones dentro de un mismo proyecto de trabajo constituye una sesión. En el caso de estudio las sesiones fueron de 20 minutos sobre cada punto relevado permitiendo la opción de reducirlo en forma automática a 8 minutos, si la constelación de satélites brindaba en ese momento una buena geometría (Di Croche *et al.*, 1999b).

Durante el procesamiento, se le dan coordenadas precisas al punto base en el sistema de referencia elegido. Para este trabajo se procesó tanto con coordenadas Posgar 94 y Posgar 98 para poder realizar un análisis con los resultados obtenidos.

Los archivos de datos provenientes de la EPBB se hallan en formato RINEX y tienen una extensión N (de navegación) y O (observable). Se denominan con un número, ej. VBCA178A.07N donde VBCA es la denominación del punto o número de serie del mismo para el caso que fuese otro equipo GPS, 178 es el día juliano que cuenta los días tomando al 1 de enero como punto de arranque. El 1 de febrero es el 032 en número juliano y así todos los días del año. Finalmente la letra que está escrita a continuación es el número de sesión o archivo para ese día y en ese receptor. Al incorporarlos al programa, los datos pasan a extensión RNX.

Los archivos obtenidos del equipo GPS tienen extensión DAT y EPH (efemérides) y tienen el mismo sistema de denominación: Ej 94391781.eph donde 9439 es el número de serie del instrumento GPS utilizado, 178 es el día juliano (27 de junio) y 1 indica que es el primer archivo de ese día.

El análisis de los resultados brindados por el procesamiento fue otro punto importante a considerar. Si los mismos no cumplían determinados parámetros hubo que analizar qué elementos de la observación podían anularse para mejorarla y volver a procesar los datos.

Se analizó la varianza, la razón y el valor del error medio cuadrático o RMS (root mean square). La varianza es un parámetro estadístico adimensional igual al cuadrado del desvío estándar de una observación de referencia. Indica en qué medida el desvío estándar o la varianza de la solución se ajusta al esperado según las medidas obtenidas (Ferrario de Urriza, 2000). El valor debe ser menor a 10, siendo 1 el valor más optimista. La razón indica la bondad de una línea base y señala cuán buena es la mejor solución fija respecto a la que le sigue en calidad. Son recomendables valores mayores que 3 (Ferrario de Urriza, 2000). El RMS permite identificar errores groseros y su valor no debe superar el 0,03. Se obtuvo de esta manera las alturas en cada punto relevado, lo que permitió realizar el control de las mismas en las distintas bases de datos.

Los archivos fueron procesados en el sistema WGS84, que es el sistema en el que el instrumental GPS brinda la información. Estas coordenadas planimétricas obtenidas fueron transformadas luego al sistema Campo Inchauspe 69 y proyectadas al sistema Gauss Krüger para poder interactuar con las cartas del IGM. El programa utilizado para esto fue el Geocalc.

2.2.2. Niveles de referencia en Ingeniero White

La Ley de la Carta (Ley N° 12.696) constituye el marco legal que estableció cubrir todo nuestro país con una red de alta precisión de puntos fijos altimétricos. Estos puntos configuran hoy una malla con polígonos de 500 km de perímetro que se encuentran materializados a lo largo del país. Para determinar esta red altimétrica de alta precisión en donde se apoyarían las nivelaciones, se estableció un plano de comparación general determinado por el nivel medio de las aguas. El plano de comparación general adoptado por nuestro país, fue el determinado por el nivel medio del mar frente a las costas de Mar del Plata, al cual se le otorgó cota cero. El nivel medio del mar entonces así definido permitió tener un punto origen de las distintas nivelaciones. Las cartas topográficas del IGM apoyan sus trabajos en esta referencia. Es importante aclarar que al tomar como base el nivel medio de las aguas, ya no se define un plano sino una superficie de comparación.

La zona de trabajo posee datos de nivelaciones apoyadas en distintos “ceros” o niveles de referencia, surgidos de diferentes relevamientos. Ellos son: la nivelación de la Municipalidad de Bahía Blanca apoyada en el cero del Puerto de Ingeniero White (el Sitio 19 que posee cota 6,50 m en el muelle), la nivelación de la Dirección de Geodesia apoyada en el cero del IGM en Mar del Plata y la nivelación de Obras Públicas apoyada en el cero del Riachuelo. Existe además el cero del SHN en donde se apoyan las mediciones de las alturas de las mareas.

Los planos que sirvieron como antecedente para ser cargados en el SIG, se confeccionaron apoyándose en cotas relacionadas a ménsulas existentes en la ciudad de Ingeniero White. Varias ménsulas fueron verificadas por la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca, como el caso del punto ubicado en calle Guillermo Torres entre las calles Daniel de Solier y Castro Barros (punto fijo G003) que fue controlado con una nivelación geométrica desde el punto G124 (Sánchez, 2008). La diferencia entre el denominado Sitio 19 en el muelle del puerto y el origen determinado por el IGM fue de 2,235 m según una nivelación realizada también por el Departamento de Catastro (Stolze, 2007) y de 2,1256 m según los datos con que se trabaja en el Consorcio de Gestión del Puerto de Ingeniero White (Fig. 1.2). La figura 2.2 detalla la relación entre los distintos niveles de referencia utilizados en relevamientos del área de estudio.

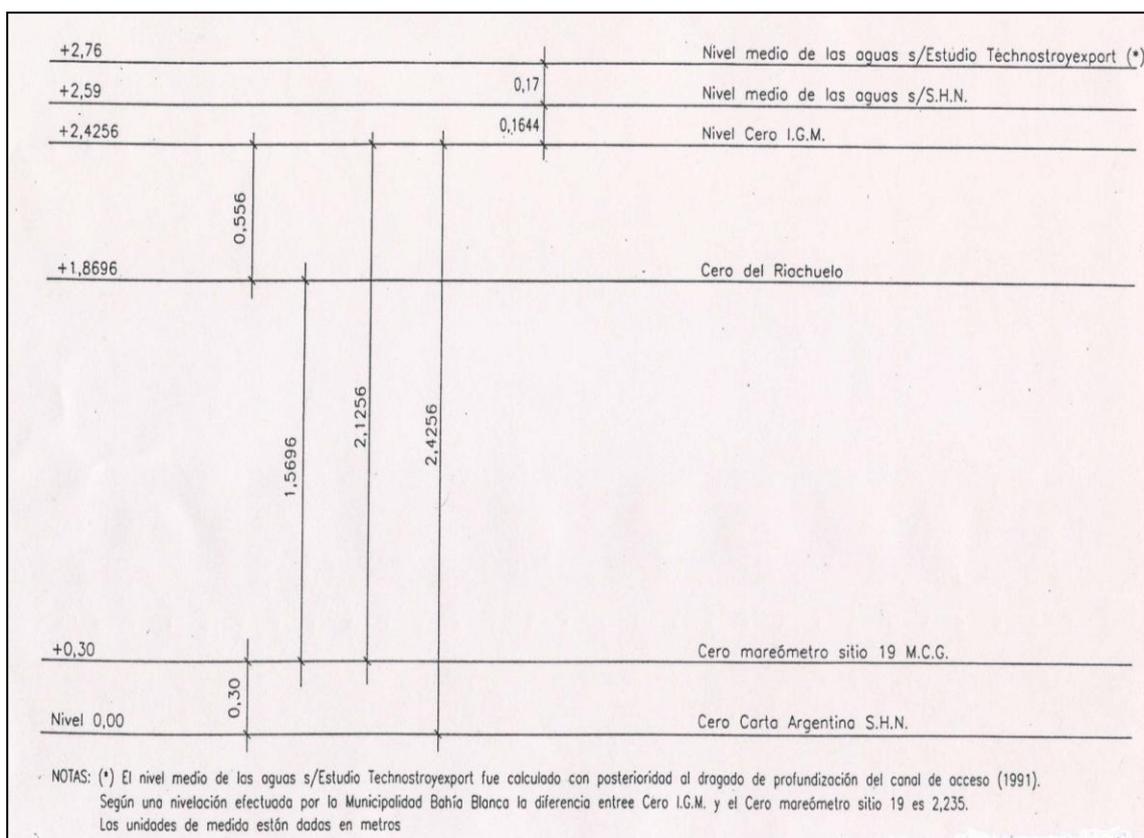


Figura 2.2. Relación entre los distintos niveles de referencia en puerto Ingeniero White.
Fuente: Schnegelberger, 2008.

Esta variación en el origen de los datos de altura, dificultó la normalización de los mismos ya que hubo que controlar toda la información a utilizar de base para las distintas alturas. Los datos que se cargaron en el SIG fueron aquellos provenientes de planos cuyo origen es el cero del IGM y datos que surgieron del control que se realizó en las mediciones con instrumental GPS (Aldalur *et al.*, 2007).

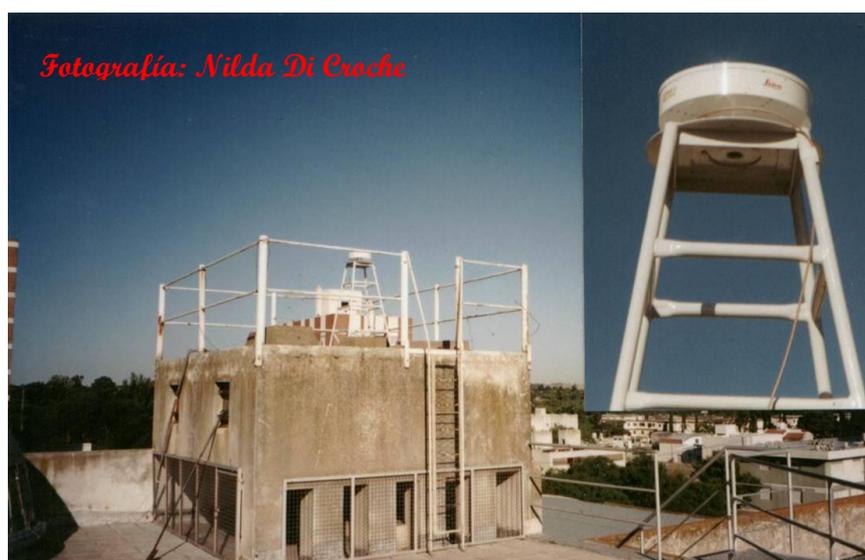
2.2.3. Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB)

Una estación permanente es un receptor GPS que se halla emplazado sobre un punto de coordenadas precisas y que opera en forma permanente con un intervalo de registro estándar (ej. 15 segundos). En general, se trata de receptores de la más alta y actualizada tecnología que cumplen entre otras, varias funciones: proporcionan datos para estudiar los movimientos de la corteza terrestre y el retardo ionosférico en su zona de influencia, sirven como marco de referencia y ofrecen un servicio gratuito a los usuarios de

la tecnología GPS para que puedan operar con un solo receptor de frecuencia única (Rodríguez, 2005).

Se trata entonces de un equipo de alta precisión ubicado en un punto de coordenadas conocidas que funciona las 24 horas del día, todos los días del año, generando archivos de datos que pueden ser formateados de acuerdo a las necesidades de los potenciales usuarios (Di Croche *et al.*, 2000). Los archivos provistos por esta estación permiten ofrecer correcciones diferenciales a los usuarios para conseguir un posicionamiento de alta precisión con receptores GPS. Para el caso de la ubicada en la ciudad de Bahía Blanca, ofrece correcciones de código y fase dentro del radio de 25 km. La EPBB forma parte de la Red de Estaciones Permanentes de Argentina, proyecto RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo).

Se halla ubicada sobre un punto trigonométrico emplazado en la terraza de la Universidad Nacional del Sur, sobre el Área de Agrimensura del Departamento de Ingeniería de la UNS denominado VBCA (Vínculo Bahía Blanca) Tiene coordenadas calculadas en el Marco Posgar 98: Latitud: $38^{\circ}42'2,77061''S$ - Longitud: $62^{\circ}16'9,21647''W$ – Altura elipsoidal (h): 59,534 m . Y en el marco Posgar 94 (Marco de referencia oficial en la República Argentina) - Latitud: $38^{\circ}42'2,78554''S$ - Longitud: $62^{\circ}16'9,22038''W$ – Altura elipsoidal: 58,822 m (<http://www.epbb.uns.edu.ar/>) (Fotografía 2.2).



Fotografía 2.2. Estación Permanente Bahía Blanca ubicada en la terraza de la UNS, en el área de Agrimensura del Departamento de Ingeniería.

La figura 2.3 muestra la pantalla del TGO durante el procesamiento de datos, se ve la posición de los puntos relevados en una de las campañas (27 de junio de 2007) y el punto que materializa la EPBB, cuyos datos permitieron corregir diferencialmente los archivos.

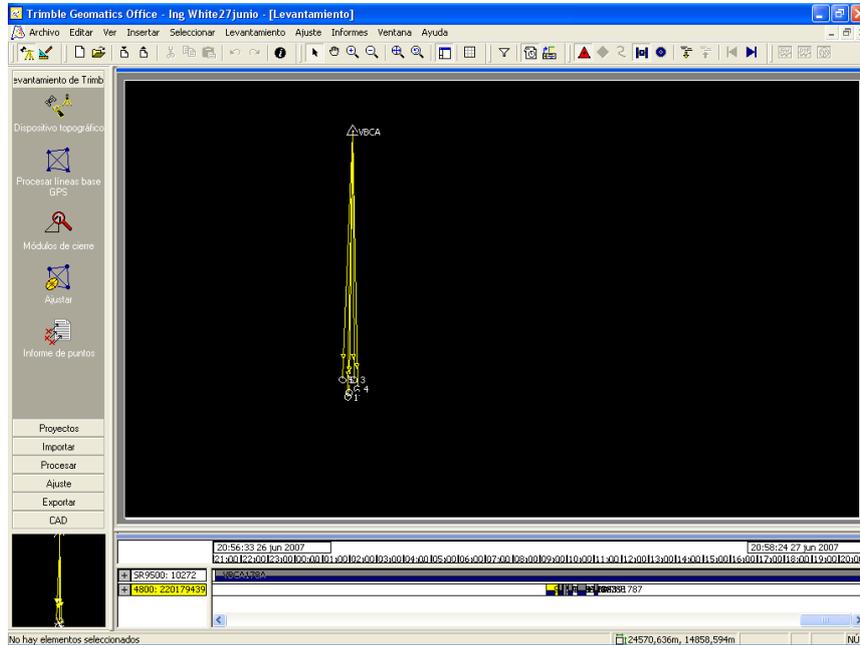


Figura 2.3. Pantalla del TGO luego de la corrección diferencial.

2.3. Georreferenciación y digitalización de diferentes capas del SIG

De todos los sensores, la fotografía aérea ofrece la interpretación más exacta de lo que ve el ojo humano, en términos de respuesta a la longitud de onda, resolución, perspectiva, visión estereoscópica y valores tonales y de color. Las películas pancromáticas, que son materiales negativos que presentan aproximadamente el mismo rango de sensibilidad a la luz que el ojo humano, son consideradas como la norma para la fotografía aérea (Organización de Estados Americanos, 1993). Las 28 fotografías aéreas pancromáticas del año 2005 georreferenciadas con los puntos relevados en campaña con instrumental GPS, fueron la base sobre la que se digitalizaron posteriormente las diferentes capas y constituyeron primera etapa de construcción del SIG. Los fotogramas no contaban con ningún tipo de corrección, el vuelo no se encontraba rectificado ni restituído, por lo tanto, poseía los errores propios del mismo, producidos por el avión: error de efecto de relieve, error de inclinación de la cámara aérea y error en la escala. Estos dos últimos errores se corrigieron al realizar la georreferenciación de cada fotograma.

La escala de las fotografías es 1: 5.000 y fueron escaneadas a una resolución de 500 dpi, lo que permitió tener un tamaño de píxel en la foto de 0,051 mm cuya correspondencia es de 0,254 m en el terreno de acuerdo con el siguiente cálculo:

$$1 \text{ cm} \text{-----} 50 \text{ m} = 5.000 \text{ cm (en escala 1:5.000)}$$

$$1 \text{ pulgada} = 2,54 \text{ cm} \text{-----} 127 \text{ m (en escala 1:5.000)}$$

$$500 \text{ puntos} \text{-----} 1 \text{ pulgada} = 2,54 \text{ cm} = 127 \text{ m}$$

1 punto o un píxel-----0,254 m (lo que representa en el terreno cada píxel de la foto)

Esta resolución de escaneo fue elegida para no incrementar el tamaño de los archivos. El aumento en la resolución haría dificultoso el tratamiento de las fotografías aéreas por las características del programa que se dispone y considerando que un valor de 300 dpi o superior, brinda una resolución visual razonable para el análisis del fotografía aérea (Rossiter y Hengl, 2002).

La georreferenciación de las fotografías aéreas se realizó utilizando polinomios de primer grado. Para el trasvase del valor del píxel se empleó el método de “vecino más próximo”. La misma fue lograda con valores promedio de error medio cuadrático (RMS) menores que 5, lo que brindó un tamaño de píxel de 1,27 m en el terreno como error máximo. Estos valores son aceptables para el propósito del presente trabajo. Los errores de relieve provocados por la altura de las edificaciones y la proyección cónica de las fotografías aéreas, dificultaron encontrar una mejor posición de los puntos de control en las fotografías escaneadas (Aldalur *et al.* 2009).

Las fotografías conformaron así un fotomosaico georreferenciado que fue una de las capas temáticas del SIG. Apoyados en él, se digitalizaron distintas capas con información recopilada y generada, necesaria para ser usadas en el posterior análisis de la hidrología urbana del sector. La capa generada con el parcelamiento catastral se digitalizó tomando la base provista en formato cad no georreferenciado, entregada por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca. La figura 2.4 muestra la cartografía confeccionada, con las fotografías aéreas ensambladas y una de las bases vectoriales digitalizadas. Se realizó una ampliación en detalle de la zona donde se encuentran la mayor parte de los parcelamientos.

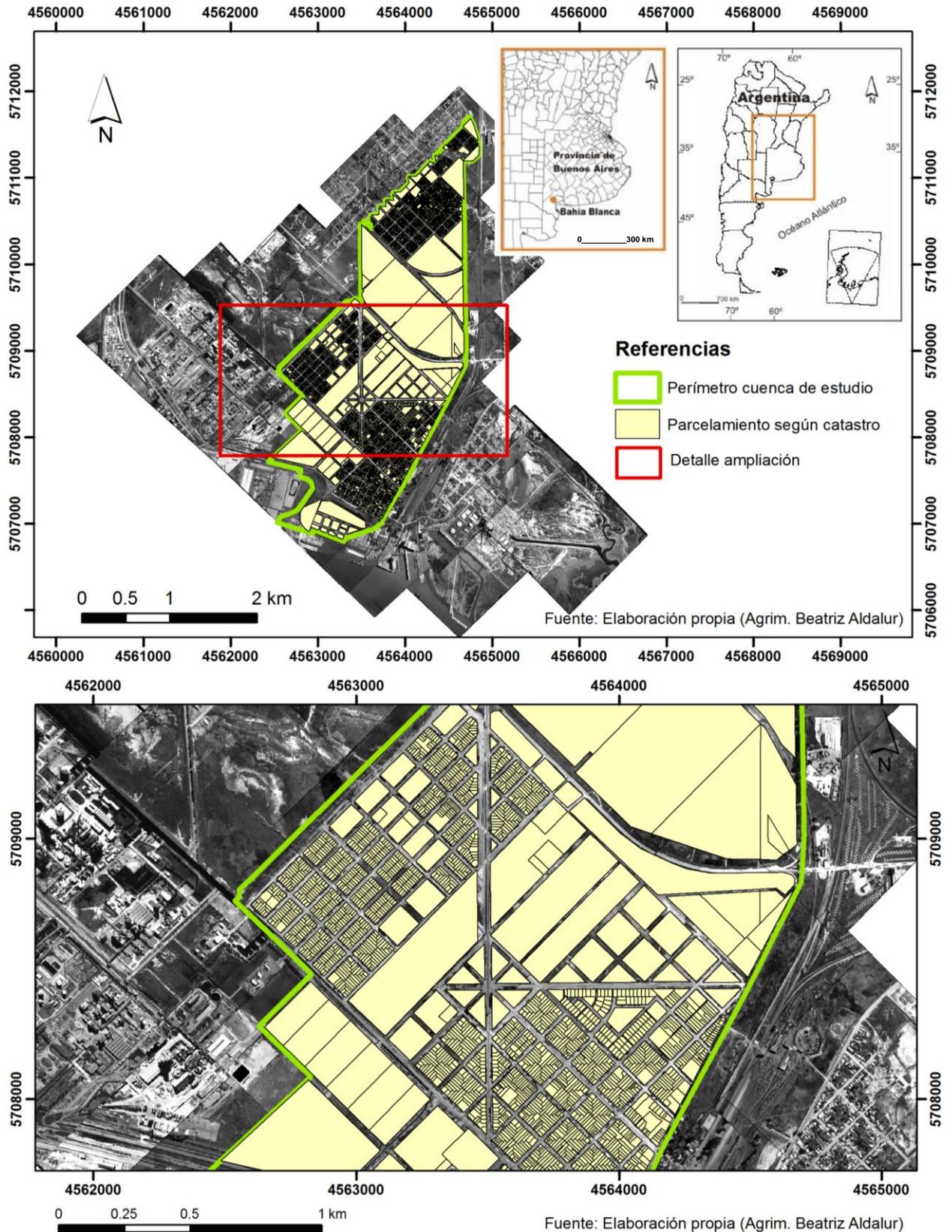


Figura 2.4. Base del SIG: fotografías aéreas rectificadas y georreferenciadas con detalle de ampliación.

Los distintos proyectos incorporados en el SIG surgieron del análisis de los objetivos propuestos en el tema de estudio. Se recopiló y se digitalizó información que se hallaba dispersa de distintas reparticiones para conformar las diferentes capas: amezanamientos, calles asfaltadas y no asfaltadas, zonificación del área, cuencas y subcuencas, cotas de puntos altimétricamente conocidos, conductos de desagües pluviales existentes, canales a cielo abierto, emplazamiento de sumideros y alcantarillas, curvas de nivel de diferentes fechas, red cloacal. Toda la información incorporada fue motivo de un posterior control de campo.

Toda la información raster generada fue georreferenciada. Se crearon las respectivas tablas de los archivos vectoriales de las distintas capas digitalizadas, incorporando información alfanumérica y atributos a las tablas. La topología permitió establecer relaciones y análisis en modo consulta. Como medio de control, se agregaron también al SIG las imágenes extraídas del Google Earth (<http://earth.google.es/>). Ello permitió junto con las fotografías aéreas, hacer una revisión de la información existente y faltante del área de estudio, que complementó la visita a campo.

2.4. Alturas ortométricas y modelo geoidal

Según Zilkoski *et al.* (2000) la altura ortométrica derivada de la medición GPS puede proveer una alternativa viable a las técnicas clásicas de nivelación geodésicas destinadas a las distintas aplicaciones. Las alturas usadas en nivelación son alturas respecto al nivel medio del mar, esto significa alturas respecto al geoide o altura ortométrica H . Di Croche *et al.* (1999a) definen al geoide como una superficie equipotencial que resultaría de suponer que no existen continentes y que quedaría determinada por la superficie de los mares en equilibrio y extendidos por toda la superficie terrestre.

Cuando se efectúan determinaciones con GPS la altura que se obtiene es h , que posee un origen diferente. Se trata de una altura geométrica, que marca la distancia entre el punto considerado sobre la superficie de la tierra y el elipsoide de referencia (altura elipsoidal). Las alturas útiles para analizar el escurrimiento de las aguas son alturas relacionadas con el nivel medio del mar, es decir, alturas respecto al geoide, por ser ésta una superficie equipotencial. La relación entre ambas alturas está dada por la ondulación geoidal "N", o sea la distancia geoide – elipsoide ($N = h - H$). La figura 2.5 muestra en detalle las relaciones entre las tres superficies. En ella debió considerarse el ángulo formado por la normal al elipsoide y la normal al geoide pero dado que este ángulo, denominado "desviación de la vertical" no es mayor a algunos segundos, en los trabajos topográficos o

geodésicos de carácter práctico se ignora y se supone una sola recta normal a las dos superficies.

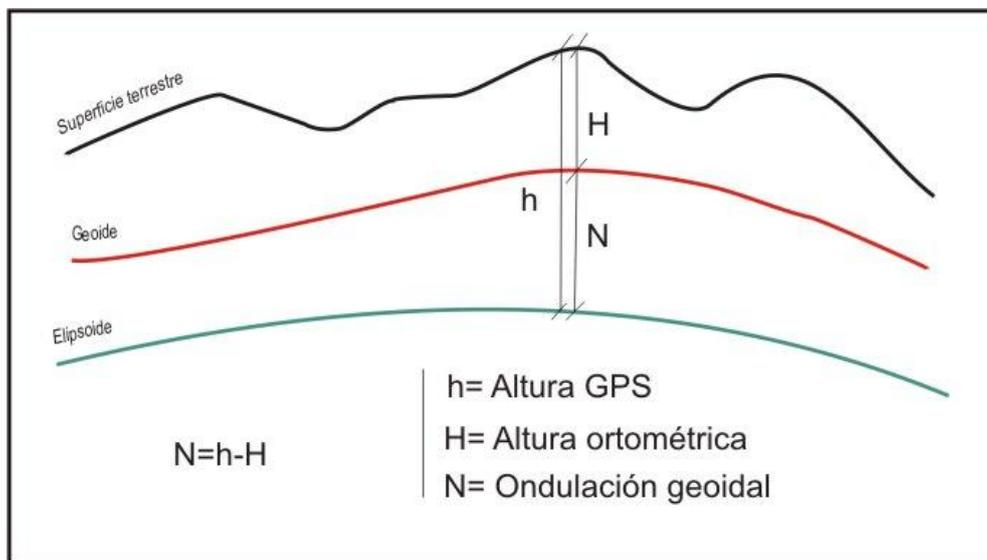


Figura 2.5. Esquema representativo de la relación entre las distintas alturas. Elaboración propia.

Con la información de altura extraída del relevamiento con equipos GPS, se buscó controlar las alturas que figuraban en los planos de desagües pluviales del sector. Para ello se realizó, en algunos de los puntos relevados, una nivelación geométrica referida a puntos con cotas del IGM. Se utilizó el valor N del modelo geoidal desarrollado en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata considerado más preciso que 10 cm (Perdomo y Del Cogliano, 1999; Del Cogliano y Perdomo, 2001). Conociendo el valor N de la región de estudio se determinaron las cotas o alturas respecto al nivel medio del mar por medio de observaciones GPS a partir de la expresión $N = h - H$ (Perdomo *et al.*, 2001). Lo que es lo mismo decir que a partir del valor de h medido con GPS, se realice sobre el punto la corrección con el valor N del modelo de geoide y de esa manera obtener alturas ortométricas o alturas sobre el nivel medio del mar, dato con el que se trabaja en todos los planos de nivelación y planos de proyecto de desagües pluviales.

Las coordenadas geodésicas obtenidas se utilizaron para hallar el valor N del Modelo Geoidal (Perdomo *et al.*, 2001). Se proyectaron a coordenadas Gauss Krüger en el sistema Campo Inchauspe 1969. Como ya fue explicado, la cartografía base de nuestro país se encuentra en ese sistema. Con el valor de N calculado se obtuvo la altura referida al nivel medio del mar de una serie de puntos ubicados en la zona de Ingeniero White.

Se analizó la posibilidad de realizar el procesamiento con datos de Posgar 94 y con datos de Posgar 98, ya que se pretendía elegir el marco que más se ajustase a las alturas locales. Si bien Posgar 98 es un marco apropiado para todo levantamiento que exija control vertical a niveles centimétricos (Brunini *et al.*, 2000) se eligió trabajar con Posgar 94 pues el valor de N utilizado surge de un modelo geoidal local donde los puntos relevados se hallan en ese marco además de ser el aceptado por Argentina a través del IGM. Se corrigieron luego las alturas elipsoidales (h) con la ondulación geoidal N extraída del Modelo Geoidal (Perdomo *et al.*, 2001).

Simultáneamente al trabajo de campo con equipos GPS se niveló geoméricamente algunos puntos utilizados relacionándolos con puntos de cota ortométrica conocida pertenecientes a la Red Altimétrica del IGM. La finalidad de esta tarea fue controlar los resultados obtenidos (Di Croche *et al.*, 1999a). Meyer *et al.* (2006) detallan la importancia en el aspecto práctico del uso de la medición de alturas con sistemas GNSS como control de alturas previamente determinadas mediante otros métodos.

Del análisis de las distintas alturas, se puede definir la dirección del escurrimiento de las aguas en crecidas. Es por ello que la tarea más importante fue el control de la nivelación ya realizada en la zona y la búsqueda de información existente que brindara datos precisos de alturas del sector.

Se realizó así el relevamiento de la información sobre cotas de altura en pavimentos y proyectos de pavimento, en desagües urbanos proyectados y existentes, surgidos de varias reparticiones. La zona se encuentra urbanizada con existencia de redes de distintos ductos. Se obtuvo información de nivelaciones del año 1970 de la zona de estudio sobre terreno natural, datos que sufrieron modificaciones dado que se instalaron sobre ellos empresas en el área industrial y en la zona de Petroquímica (Aldalur *et al.*, 2006).

La ciudad de Ingeniero White posee redes de ferrocarril que llegan hasta el muelle, materializando en el mismo una rejilla de vías. Se buscó cotas de nivel de las mismas en las reparticiones destinadas a tal fin y ubicación de los distintos sumideros. Todos los planos de pavimentos y proyectos de pavimentos, fueron analizados para poder determinar un primer esbozo de la cuenca y para controlar posteriormente los datos allí volcados.

A los datos existentes de curvas de nivel y de cotas de terreno natural, se le superpusieron los datos de cotas de pavimentos, industrias, canales artificiales y redes ferroviarias. Se realizaron trabajos de relevamiento en campo y se consultaron fuentes

bibliográficas e informes técnicos elaborados por diversas instituciones como Gobiernos Provinciales, Municipales, Vialidad Provincial y ABSA.

2.5. Cuenca urbana – cuenca natural

El ciclo hidrológico del agua es un modelo conceptual que describe el movimiento del agua en la superficie terrestre y la atmósfera. Abarca los procesos de evaporación y transpiración, precipitación, escorrentía superficial y corrientes subterráneas. La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de que ella haya terminado. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen. El ciclo hidrológico es un medio apropiado para describir el alcance de la hidrología, la cual se limita a la parte del ciclo que cubre desde la precipitación del agua sobre la tierra hasta el regreso de ésta bien sea a la atmósfera o a los océanos (Linsley *et al.*, 1977). El hombre influye en el ciclo hidrológico y es allí donde surge el concepto de hidrología en las áreas urbanas, aplicadas a cuencas. Hidrología puede definirse según Chow *et al.* (1999) como el estudio del ciclo hidrológico, es decir la circulación continua del agua entre la tierra y la atmósfera.

Sala Sanjaume y Batalla Villanueva (1996) define a la hidrología como la ciencia que trata del estudio del agua en sus diversas manifestaciones en la superficie de la tierra: el agua de precipitación, el agua evaporada, el agua superficial y el agua subterránea. Estudia por lo tanto, la distribución y las propiedades del agua de la atmósfera y de la superficie terrestre, incluyendo además de lo mencionado la humedad del suelo y el equilibrio de las masas glaciares. Si el tema de estudio se halla orientado hacia lagos, ríos, mares, medioambiente, agua en el subsuelo, su enfoque será distinto y existirá entonces una hidrología que abarcará cada temática. Los geógrafos hacen así un importante aporte a la hidrología urbana dado que la mayor parte de la población habita en esas áreas, siendo la intervención humana el principal agente modificador de los parámetros hidrológicos. Es el hombre el que altera entonces la natural escorrentía de las aguas, hecho que puede provocar muchas veces inundaciones.

La hidrografía se ocupa de la distribución geográfica de las masas de agua en ríos y lagos de la tierra, en el fondo del océano, en las costas, las mareas y las corrientes, encontrando así una hidrografía continental y una marina. La hidrografía tiene un objeto y un método propio, dicho objeto es el régimen de los cursos de agua, que involucra el conocimiento del valor medio del módulo anual, el coeficiente y déficit de escorrentía, los

módulos mensuales y los gastos característicos anuales; estiajes y crecidas y la historia de las principales inundaciones (Capitanelli, 1998). Natenzon (2004) define a la cuenca hidrográfica como el territorio sobre el que se plantean conflictos diversos por el uso de los recursos naturales y del ambiente. Es también un recorte geográfico específico en el que se entretrejen procesos de índole natural y social.

El conjunto de aguas que drenan hacia un mismo tronco y que conforma una unidad hidrológica y geográfica bien definida constituye una cuenca. Su estudio se enfoca hacia tres puntos: la superficie del suelo, la corriente superficial y las variaciones espaciales y temporales que se producen en cada cuenca, siendo estas últimas las que constituyen un problema geográfico por excelencia (Bruniard, 1992). Una cuenca es una superficie de tierra que drena hacia una corriente en un lugar dado y sus límites son las divisorias de aguas, líneas que separan las aguas que drenan hacia un río de las que drenan hacia otro (Chow *et al.*, 1999). En cualquier sector de un curso fluvial es posible trazar la cuenca que contribuye a su alimentación hídrica (Sala Sanjaume y Batalla Villanueva, 1996).

Bruniard (1992: 21,22) la define como *“la superficie receptriz de un río aguas arriba de la estación de referencia, y cuya función básica consiste en interceptar las aguas meteóricas que luego se escurrirán hasta encontrar un cauce común”*. Esta definición aplicada a cuencas naturales, también sirve para materializar una cuenca en hidrología urbana, teniendo siempre presente que es la topografía del terreno la que va marcando el camino más fácil para el escurrimiento superficial del agua pero es el hombre el que intercepta su trayectoria con obras de infraestructura, pudiendo cambiar así su recorrido natural. El esquema de la divisoria de drenaje en una cuenca urbana debe seguir las fronteras reales de la cuenca materializadas a través de su topografía. Para ello las curvas de nivel son las que permiten ver la dirección del flujo. Las líneas divisorias de las subcuencas no serán muchas veces límites naturales ya que se hallan influenciados por las pendientes de los pavimentos, los conductos subterráneos, los parques y espacios verdes, vegetación, lugares pavimentados y toda otra urbanización introducida. Por lo tanto hay que considerar aspectos naturales y artificiales en el diagrama de la red de drenaje en una zona urbana.

La cuenca urbana comprende así todo el sistema de red de alcantarillado y tuberías de aguas de lluvias realizadas por el hombre, los cauces urbanos y los naturales, las pendientes en las calles y demás elementos que colectan y conducen las aguas de lluvias hacia el sistema de drenaje natural. Por intervenir el hombre en su demarcación es que sigue la mayoría de las veces lineamientos rectos, hecho que no sucede en las cuencas naturales. Las redes de drenaje que en sus orígenes seguían la línea de la máxima

pendiente y el camino más fácil, se transforman en canales, tuberías y cordones cuneta conectados entre sí que discurren por sobre la superficie o subterráneamente y que conducen el agua a otras zonas fuera de los límites de la ciudad. La cuenca natural así se ve transformada.

Para la demarcación de una cuenca en un área urbana, se debe considerar la topografía existente, leída a través de las curvas de nivel de la zona. Una vez que el área de la cuenca fue delimitada en todo su contorno, se deben marcar las distintas subcuencas. Ellas surgen volcando la trama urbana sobre las curvas de nivel y los conductos subterráneos, que conforman muchas veces el curso principal. Existiendo también los cursos secundarios y las trayectorias del flujo laminar. Las distintas subcuencas se van marcando delimitando las isocronas, líneas que surgen de unir puntos de igual tiempo de traslado de una gota de agua en el curso del cauce principal, en los cursos secundarios y en las trayectorias del flujo laminar (Murga, 2008). Catalá Moreno (1992) define a una isocrona como el lugar geométrico de los puntos de la cuenca tales que la lluvia neta caída sobre ellos tarda un tiempo “t” en alcanzar la sección de cálculo. Facilita el dibujo de las áreas que tributan en los distintos cauces y es utilizado para el cálculo de caudales en los proyectos de desagües pluviales (Murga, 2008). Se denomina método de las isocronas y es en general de aplicación muy laboriosa (Catalá Moreno, 1992).

Estas áreas que se obtienen en la utilización de este método, surgen de la ecuación conocida de espacio: $E = V * T$.

Donde “T” es el tiempo unitario representativo de la equidistancia entre curvas y se adopta en función del área de la cuenca, en general para las zonas urbanas se adopta de 5 minutos (Murga, 2008). La velocidad “V” se obtiene de la fórmula de Chézy-Manning que calcula la velocidad del agua en una sección de un cauce o canal en función de un coeficiente de rugosidad que varía según la superficie de escurrimiento (Anexo V). Obteniendo así el espacio, se trazan las isocronas que delimitan las subcuencas (Chow *et al.*, 1999).

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} * S^{1/2}$$

V = velocidad media (m/s)

n = parámetro de rugosidad de Manning tabulado por tablas (en el sistema técnico su dimensión es $s/m^{1/3}$)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente

Las dos características más importantes de una cuenca urbana, en comparación con una cuenca natural, son el elevado porcentaje de superficie impermeable y la existencia de una red de drenaje artificial con puntos localizados de entrada de agua (Nanía y Gómez, 2006). Esta última característica condiciona la misma definición de la cuenca ya que en el caso de la cuenca urbana además de tener en cuenta el relieve superficial, hay que contar también con la red de drenaje, que puede no tener la misma pendiente o dirección de drenaje que el terreno. El porcentaje de impermeabilidad de una cuenca urbanizada hace que la infiltración sea reducida, lo que conduce a un aumento del volumen total de escorrentía.

Para entender la actual problemática del drenaje urbano, hay que tener en cuenta el crecimiento notable del número de habitantes en las ciudades donde la superficie en que se desarrolla la escorrentía en una red de drenaje urbana es menos rugosa que en el medio natural, la velocidad del agua es mayor y los tiempos de concentración bajos. El tiempo de concentración es el tiempo para que la escorrentía se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de entrada del alcantarillado. Las redes de drenaje se ven obligadas a soportar nuevas cargas para las que no estaban dimensionadas inicialmente. Estas nuevas cargas son debidas, precisamente, a los efectos de la nueva urbanización, traducidos en forma de cunetas de hormigón, pavimentos, veredas embaldosadas y edificaciones, que provocan el aumento de la tasa de impermeabilidad y reducen la rugosidad del suelo. La consecuencia es un flujo de agua que discurre con mayor rapidez y una pérdida de la capacidad de laminación natural de la cuenca, dando lugar a caudales mayores y con tiempos de concentración menores.

Una alteración en la utilización del territorio en una zona de la cuenca aguas arriba, influirá aguas abajo. Si la urbanización cambia, cambia también el recorrido de la escorrentía. Y esto es lo que sucede en una zona urbana donde las cuencas no tienen un curso principal bien definido ya que el mismo es la suma de tuberías, alcantarillados o sumideros, canales a cielo abierto y embalses naturales que tiene la cuenca.

El diseñar hidrológicamente una cuenca para controlar el agua que escurre en la misma se relaciona con el disminuir los efectos adversos que causan las crecidas. Las magnitudes de estas crecientes están descritas por sus caudales, sus elevaciones y sus volúmenes (Chow *et al.*, 1999). Así es como se intenta reducir el problema que deriva del

movimiento de un gran caudal de agua sobre la superficie de la tierra a través del proyecto de estructuras de regulación (ej. embalses) y de estructuras de conducción (ej. cunetas, alcantarillas, canales a cielo abierto, tuberías, sumideros). De la misma manera se puede proyectar un diseño hidrológico para poder utilizar el agua que drena sobre una zona y con obras antropogénicas mitigar el efecto de los caudales extremadamente bajos.

Una zona urbana es diagramada para la recepción de un determinado caudal de agua, que logra en principio ser evacuado por los canales, tuberías, alcantarillas que en ella se localizaron. Con el paso del tiempo y el crecimiento de la población, el desarrollo urbano puede ocasionar severos problemas en el manejo de las aguas urbanas. Uno de los principales tópicos a analizar en una zona urbana es que el sistema de drenaje de aguas de lluvia sea el adecuado y que funcione correctamente.

La construcción de casas, industrias, edificios, caminos pavimentados, etc, reduce la cubierta permeable y altera el camino del agua reduciendo la infiltración. El patrón espacial del flujo de la cuenca cambia y surgen nuevos canales artificiales realizados muchas veces sin un estudio general de la zona, con el objetivo de ir salvando obstáculos ante las sucesivas crecidas. Estos factores incrementan el volumen y la velocidad de la escorrentía y producen caudales de crecientes con picos mayores en las cuencas urbanizadas que aquellos que ocurrían antes de la urbanización (Chow *et al.*, 1999).

Schueler (1987) explica cómo cambia la hidrología de una cuenca como resultado de la urbanización analizando la estación del verano (Fig. 2.6). Esta figura detalla tres aspectos importantes. La figura 2.6.a muestra el flujo de la corriente y el balance de agua previo a la urbanización, donde la evapotranspiración de las plantas es mayor que en la faz posterior por la existencia de mayor cobertura vegetal. La superficie no urbanizada permite absorber mayor cantidad de agua, por lo cual el escurrimiento superficial es menor que en la faz posterior.

El caudal detallado en los ejes cartesianos de la figura 2.6.b muestra una descarga pico mayor y un mayor volumen de escurrimiento en la faz posterior y ante una misma precipitación. Ante una tormenta pequeña, las curvas de la precipitación antes y después de la urbanización, difieren notablemente. El volumen de agua y la velocidad de escurrimiento son menores en la faz previa que en la faz posterior.

En la figura 2.6.c se observa como cambia el nivel del flujo del agua y el límite de la zona de inundación en la estación elegida. Las dos alturas son más bajas, previo a la urbanización.

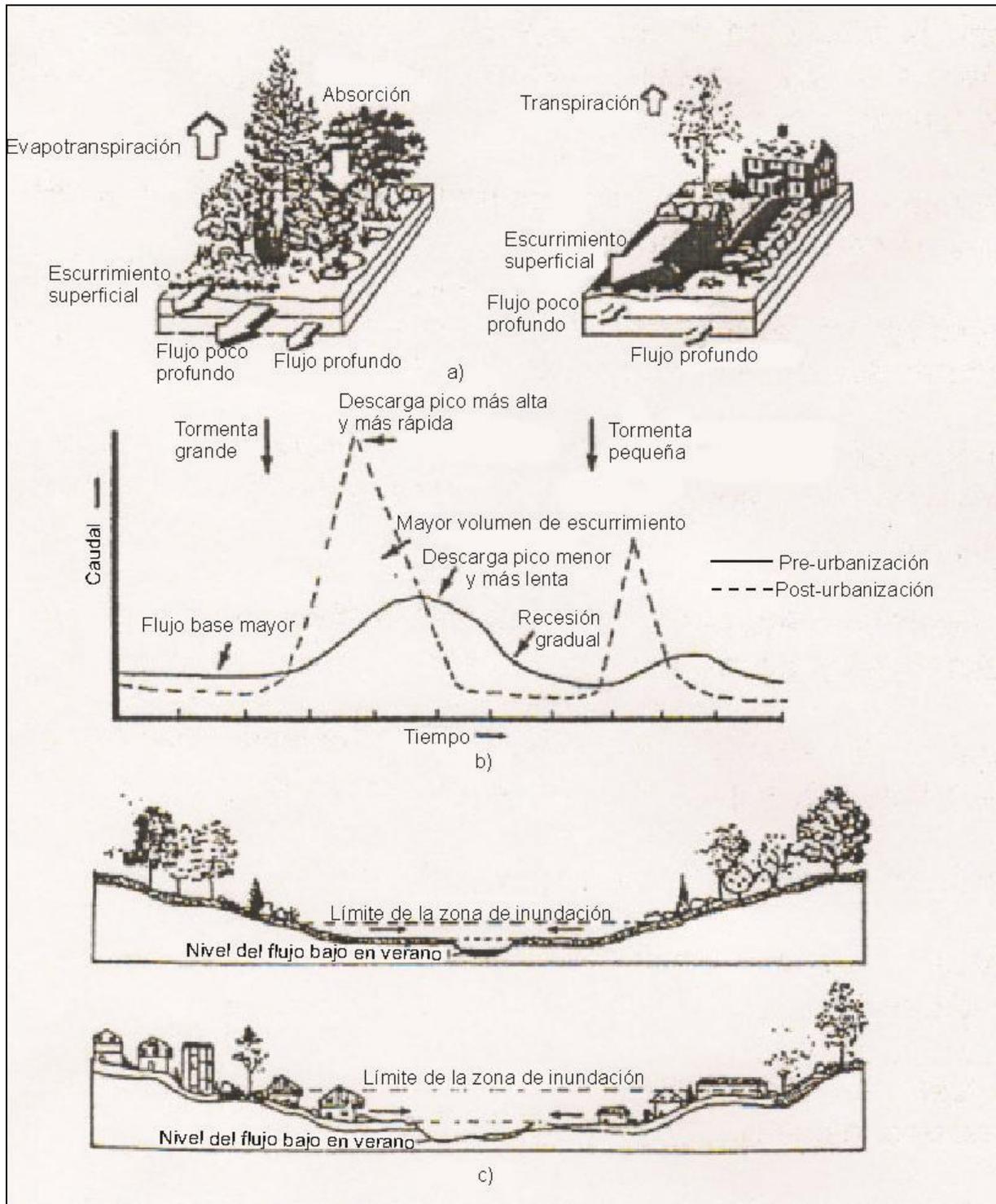


Figura 2.6. a. Balance de agua – b. Caudal – c. Respuesta de la geometría de la corriente.
Fuente: Modificado de Schueler, 1987.

La capacidad de poder evacuar el agua cambia con el desarrollo urbano. Lo diagramado en un comienzo, se convierte en algo inadecuado con el paso del tiempo si no existe el control del crecimiento, ni el planeamiento metódico de las distintas áreas. El emplazamiento de estas obras produce movimiento de grandes masas de tierra y

sedimentos que, aunque se encuentran estabilizados, son vulnerables a la erosión en el tiempo, desde meses hasta varios años (Strahler y Strahler, 2005). Las cuencas urbanas sufren así variaciones tanto espaciales como temporales. El espacio está referido a la pendiente del suelo, a su cobertura vegetal o no y a su tipo de suelo, los cuales varían en cada punto de la cuenca. Las cuencas cambian con el tiempo ya que las características hidrológicas cambian con el proceso de urbanización (Chow *et al.*, 1999).

2.6. Metodología para analizar la transformación del relieve

El estudio de la transformación del relieve se efectuó mediante el análisis de información sobre alturas ortométricas de dos fechas distintas, alejadas entre sí en el tiempo. Se georreferenciaron los fotogramas del año 1965 y se les superpuso la cuenca urbana ya delimitada. Así se pudo estudiar con más detalle la cuenca en su estado natural en esa fecha.

Se realizó el análisis de estas fotografías aéreas en toda el área de la cuenca y de la superficie que se extiende en forma aledaña hacia el estuario mediante la fotointerpretación y haciendo uso de un estereoscopio de espejos. El resultado fue digitalizado en el SIG.

En otra capa del SIG, se digitalizaron las curvas de nivel extraídas de la carta del IGM 3963-17-1 correspondiente a una restitución de los años 1966 – 1967 que se encuentran con una equidistancia de 5 m. Se digitalizaron también las curvas de nivel con una equidistancia de 1 m, provenientes del plano existente en la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca y cuya antigüedad, deducida de la lectura de los distintos fotomosaicos y cartas ya mencionadas, corresponde también a esta fecha.

La otra fecha elegida fue la actual, para lo cual se incorporaron en el SIG las cotas del área de estudio de los canales a cielo abierto y cordones cuneta existentes en la actualidad. La información surgió de los 19 planos de proyecto de pavimento provistos por la Municipalidad de Bahía Blanca y de planos de la Dirección de Vialidad Provincia de Buenos Aires, así como también de los puntos relevados en campaña. Las figuras 2.7 y 2.8 muestran un sector de dos de los planos con la información descripta. En la figura 2.7 se observa la zona aledaña a la Estación de Ferrocarril de Ingeniero White. Las flechas detallan el escurrimiento del agua.



Figura 2.7. Sector de uno de los planos de proyecto de pavimento de Ingeniero White.

La figura 2.8 muestra el proyecto de pavimento correspondiente al barrio 26 de Setiembre (Fig. 3.7). En la parte superior del plano se observa la leyenda “zanja existente a limpiar”. La fotografía 2.3 es una fotografía de esa zanja en la actualidad.

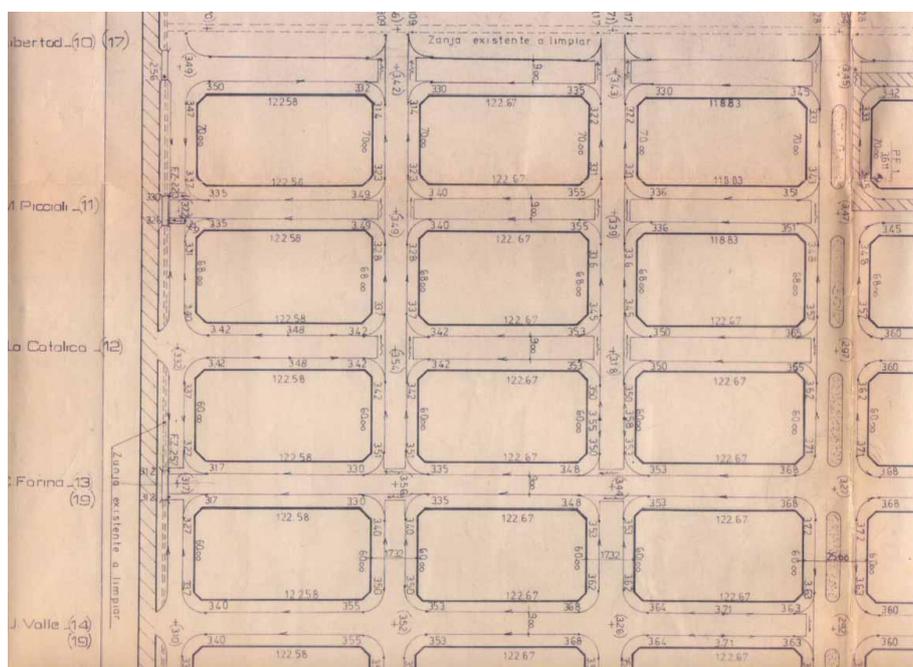


Figura 2.8. Sector del plano de proyecto de pavimento de la delegación 26 de Setiembre.



Fotografía 2.3. Zanja abierta detallada en la figura 2.8.

Con la información provista por los 19 planos de proyecto de pavimento y las demás fuentes consultadas así como también de la medición en campaña, se digitalizaron todos los puntos de cotas conocidas. Se dibujaron las curvas a través del Surfer 8 y Arcview 3.1, empleando el método Kriging, método de interpolación que registra el menor error (Siu-Ngan Lam, 1983; Oliver y Webster, 1990; Arbuét y Pusineri, 2008) y es el más utilizado e importante (Bosque Sendra, 1992). La equidistancia a la que se calcularon las curvas para 2008 fue de 50 cm, ya que se contaba con datos de 1.670 cotas.

A partir de los datos de altura de estas dos fechas distintas, se obtuvieron las curvas de nivel representativas de la topografía y se confeccionaron con ellas un modelo digital de elevación para cada fecha. El modelo digital de elevación será más preciso cuanto mayor sea el número de puntos empleados para su realización. Un modelo digital de elevación es una descripción matemática de la superficie terrestre, compuesto por un gran número de puntos discretos y estructuras lineales. En la práctica se genera una malla de puntos espaciados regularmente, los cuales tienen coordenadas X, Y, Z (Niño, 2008).

Con las curvas ya delimitadas se trazaron en cada una de ellas un perfil longitudinal de la cuenca desde la zona de mayor altura hasta la cota más baja y dos perfiles transversales, uno en la parte alta y otro en la parte baja, de las dos fechas mencionadas. Se hallaron valores de pendientes a través del cálculo del cociente o razón entre el desnivel vertical y la distancia horizontal entre dos puntos.

El valor de inclinación de una pendiente puede expresarse de cuatro maneras según el IGM (1976):

- ✓ Pendiente expresada en velocidad: cociente entre el desnivel y la distancia real entre dos puntos. También denominada gradiente por Strahler (1979).
- ✓ Pendiente expresada en porcentaje: resulta de multiplicar el resultado anterior por 100.
- ✓ Pendiente expresada en milésimos: resulta de multiplicar el resultado de la pendiente expresada en velocidad por 1000.
- ✓ Pendiente expresada en grados: se calcula mediante la función trigonométrica arco tangente a partir del dato del cociente entre el desnivel y la distancia real entre dos puntos. Se encuentra normalmente expresado en grados sexagesimales.

Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 3.

2.7. Metodología para el cálculo de parámetros morfométricos

Se hizo una analogía de una cuenca urbana mediante la utilización de algunos de los parámetros morfométricos utilizados para el estudio de las cuencas naturales. Se eligieron aquellos que aportaron información a la dinámica de la cuenca de estudio y permitieron obtener conclusiones que ayudaran a su conocimiento. Caracterizar los eventos de precipitaciones a través de los índices y parámetros elegidos permitió evaluar el comportamiento de la cuenca.

Se realizó para ello la jerarquización de la cuenca según el método de Strahler (1964). Se calcularon los parámetros morfométricos: Relación de Bifurcación, Relación de Longitud y Relación de Elongación. Se hizo el cálculo de las áreas de las diferentes cuencas y subcuencas y las pendientes de cada una de ellas. Algunos de estos parámetros fueron la base para el cálculo de caudal detallado en el capítulo 8. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 4.

2.8. Transición climática en Bahía Blanca e Ingeniero White

El comportamiento de los distintos parámetros climáticos de la ciudad de Bahía Blanca e Ingeniero White fue estudiado a través de diferentes décadas. Capelli de Steffens y Campo de Ferreras (1994) analizaron ampliamente las características climatológicas de la

serie 1971 – 1980. El estudio climático de la década 1981 – 1990 y su comparación con décadas anteriores fue desarrollado por Campo de Ferreras *et al.* (2004a). La información se completó con la realización de análisis de frecuencia y promedios mensuales de vientos para este entorno de años a partir de datos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1992).

Los años 1991 al 2000 fueron analizados a través de datos provistos por las Estadísticas Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional que poseen la Estación Meteorológica Bahía Blanca Aero, localizada a los 38° 44' de latitud Sur y 62° 10' de longitud Oeste, ubicada a una altura de 83 m sobre el nivel del mar (SMN, 2002). La información de los años 2001 a 2005 fue extraída de Mormeneo (2006), Zapperi *et al.* (2006), Zapperi *et al.* (2007) y Gil *et al.* (2008).

Para analizar las condiciones del clima en los años posteriores a los ya estudiados por otros autores, se contó con información provista por una Estación Meteorológica ubicada en el Club Náutico Bahía Blanca localizada a los 38° 47' de latitud Sur y 62° 16' de latitud Oeste en la ciudad de Ingeniero White. La estación pertenece al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur y se obtuvieron datos de los principales elementos meteorológicos a partir de su instalación en el año 2005.

La información de los días con precipitaciones máximas en el siglo XX hasta la fecha se obtuvo de información suministrada por el periódico local La Nueva Provincia y de actualización personal. Se estudiaron dos sucesos destacados: de tormenta y de Sudestada a través de las cartas del tiempo provistas por la Central Meteorológica Naval Comandante Espora de la Armada Argentina. Los datos climatológicos de las distintas series de años se trabajaron a través de un programa específico con métodos estadísticos estándar. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 5.

2.9. Análisis de las mareas en Ingeniero White

Para describir el comportamiento de las mareas se trabajó con información proporcionada por el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca y la Dirección Nacional de Vías Navegables correspondiente al mareógrafo del Puerto Ingeniero White.

Se estudiaron datos de máximos y mínimos de marea durante los últimos 100 años, se calcularon los promedios diarios, mensuales y anuales y amplitudes y se analizaron máximos y mínimos de marea para el año 2002. Los años elegidos se corresponden con

años que han tenido alguna fecha en la que se produzco algún evento de inundación en Ingeniero White. Se calcularon las fluctuaciones de la marea por diferencia de la marea real y la marea astronómica pronosticada, con registros del año 2002. Se comprobó la relación existente entre los valores de máximos y mínimos de marea con velocidades media del viento, a través de la información meteorológica trabajada en el capítulo 5 e información de mareas del año 2006.

Se analizaron datos de altura de marea suministrados por el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca y la Dirección Nacional de Vías Navegables. Estos datos de marea real obtenidos por el mareógrafo de Ingeniero White se hallan referidos a las siguientes fechas: 20 de julio de 1996, 3 y 4 de abril de 1997, 18 de abril de 2001, 26 de mayo de 2001, 26 y 27 de agosto de 2002, 31 de agosto de 2002, 13 de octubre de 2002, 10 de noviembre de 2002, 13 de enero de 2007 y 29 y 30 de julio de 2009. Fueron elegidas por ser fechas en las que había disponibilidad de información y había ocurrido un evento de inundación de magnitud importante en Ingeniero White. Los datos de alturas de marea de las distintas series de años se trabajaron a través de un programa específico con métodos estadísticos estándar. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 6.

2.10. Metodología para el estudio del uso del suelo

Se realizó el estudio del uso del suelo en la actualidad y de los distintos cambios sufridos a lo largo de los años. También se analizaron los usos permitidos y proyectados por la legislación vigente a través del Código de Planeamiento Urbano de la Municipalidad de Bahía Blanca. Para este objetivo, se digitalizaron las distintas zonas del Código de Zonificación sobre el área de estudio. Se realizó la intersección de esta capa vectorial con la que configura el área total de la cuenca. La tabla adosada a la capa fue cargada con la información del código y se calcularon las superficies ocupadas por las distintas áreas. Se evaluaron los usos proyectados y previstos por la legislación vigente.

En la clasificación de uso del suelo se tuvo en cuenta la metodología aplicada por Gray de Cerdán (1987) realizando una clasificación *a priori* antes de la visita al lugar y teniendo en cuenta un único criterio para diferenciar el tipo de actividad de la tierra: servicios, comercio, industria, etc. Luego del relevamiento, se afinaron las pautas de selección a través de los usos encontrados en la realidad. Con el material recogido en campo, se compatibilizaron los datos para lograr un listado único que organizara la información por tipo de actividad. El primer agrupamiento surgió en función de los edificios:

- ✓ los correspondientes a la producción, como el comercio y la industria.
- ✓ los destinados a permitir la vida comunitaria,
- ✓ los edificios para habitación, unifamiliares o multifamiliares.

Los edificios destinados a servicios para la vida comunitaria presentaron una categoría muy heterogénea, ya que hubo que definir previamente cuáles incorporar. En ella entraron los edificios de la administración pública, los lugares de culto, bomberos, policía, asociaciones gremiales, entidades y sociedades de bien público, educación y los lugares destinados a distracción como las plazas y clubes. La etapa final consistió en definir las categorías definitivas, contemplando acá los espacios construidos, los espacios en construcción y/o desocupados y los espacios no construidos.

El uso actual de la tierra del área de estudio, se volcó en el parcelamiento catastral digitalizado mediante su incorporación a la tabla de atributos. La información se extrajo de la fotointerpretación de las fotografías aéreas y de trabajo de campo que también sirvió como control de los datos.

Se analizó finalmente el crecimiento de la trama urbana a lo largo de los distintos años, sobre la base de cartografía existente y fotografías aéreas. Para ellos se escanearon las cartas del IGM de los años 1937 y 1967, georreferenciándose con los puntos de control que fueron base del SIG y se digitalizó sobre ella la trama urbana existente en esas fechas. Los años siguientes fueron estudiados a través de fotografías aéreas.

El año 1996 se apoyó en las fotografías aéreas de un vuelo de esa data, provistas por la Municipalidad de Bahía Blanca a escala 1:40.000, escaneadas con 200 dpi de resolución que brindaron un tamaño de píxel de 5 m. Sobre ella se digitalizó también la trama urbana. Para los años 1986 y 1991 se escanearon a 300 dpi con el objetivo de lograr mejor definición por la antigüedad del papel fotográfico dado que eran ampliaciones a escala 1:10.000 y 1:16.000 respectivamente. Para el año 2005 se utilizaron las fotos que conformaron la base del SIG en escala 1:5.000.

Se digitalizó así una nueva capa dentro del SIG, realizada por medio del análisis de las fotografías aéreas, donde surgen las áreas edificadas para cada época en cada uno de los años mencionados. Se calcularon luego las superficies de las distintas zonas edificadas para las distintas épocas, en cada fecha a estudiar. Se generaron las tablas de cada superficie y se llevaron los datos comparativos a un eje de coordenadas cartesianas.

Se controló la información digitalizada mediante el uso del estereoscopio de espejos en las corridas en las que se contaba con fotografías aéreas consecutivas donde la superposición longitudinal del sesenta por ciento permitía ver en relieve. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 7.

2.11. Metodología para el diseño de una cuenca urbana

Se estudió el estado de los desagües pluviales y se analizaron las diferentes etapas de su construcción. Se investigó también sobre la red cloacal, ya que los entrevistados manifestaron que en algunos eventos de inundación el agua ha salido al exterior a través de los mismos. Para ello se realizó la digitalización de la red cloacal y de toda la infraestructura relacionada con los drenajes urbanos en el área de estudio (conductos, canales a cielo abierto, sumideros y alcantarillas).

Mediante la utilización del programa de hidrología urbana HidroEsta, se calculó el caudal máximo de la cuenca aplicando el método racional. Este dato resulta importante para la gestión y diseño de la misma. Con la información de caudal y de pendientes se controlaron los conductos y canales a cielo abierto existentes mediante la utilización del programa HCanales. Se analizó también la precipitación neta y la capacidad de retención a través del método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS).

Se tomó como referencia el caso del Riachuelo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, donde se instalaron 7 estaciones de bombeo para solucionar los problemas de inundaciones por mareas (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2010) y se aplicó esta experiencia en el estudio de la posibilidad de ubicar estaciones de bombeo en el área de Ingeniero White. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 8.

2.12. Metodología de estudio de la exposición y el peligro

El riesgo tendrá distintos enfoques según la disciplina desde la cual se aborda el concepto. Chow *et al.* (1999) lo relaciona con la vida útil de un diseño de drenajes y en función del período de retorno. Estudia la capacidad de una estructura para controlar el agua y si ese diseño se excede de la vida útil en el período correspondiente al tiempo de retorno. Relaciona la probabilidad de que falle la capacidad del diseño en ese período y acepta un porcentaje de riesgo. Probabilidad de ocurrencia, costo del daño potencial, factor de seguridad y margen de seguridad son términos analizados desde la óptica de esta disciplina.

Cuando se analiza el riesgo de un diseño de drenaje, éste se mide en términos de inconvenientes o consecuencias adversas potenciales, como puede ser los daños, la seguridad, el riesgo profesional, la retribución política. Al estudiar un evento de escurrimiento para un diseño, se deberá manejar una solución que no permita resultados indeseados. El estudio de los factores de riesgo y de las consecuencias requiere una evaluación de la probabilidad de ocurrencia y el costo del daño potencial (Murga, 2003).

Ulrich Beck planteó en 1986 un cambio en la visión del riesgo, introduciendo el concepto de que no existe una sociedad de clases sino una sociedad de riesgos. Surge la denominada racionalidad social y es suya la frase: “*sin racionalidad social la racionalidad científica está vacía, sin racionalidad científica la racionalidad social es ciega*”. No existen soluciones científicas al problema del riesgo ya que el conocimiento científico se ve imposibilitado de evaluar soluciones culturalmente aceptables (Beck, 1986: 36)

Natenzon *et al.* (2003) definen al riesgo como la probabilidad de ocurrencia de un resultado imprevisto. Desde el sentido común suele referirse al riesgo para denominar situaciones y eventos cuyo resultado es probable, apuntando en este caso a la dimensión del riesgo denominada peligro. Desde la perspectiva social Natenzon (1995), Andrade (2005), González *et al.* (1998), Fernández Caso *et al.* (2007) identifican cuatro componentes bien identificables que conforman el marco de la teoría social del riesgo: la peligrosidad, la vulnerabilidad, la exposición y la incertidumbre. Así las definen a cada una de ellas:

- ✓ La *peligrosidad* se refiere al potencial peligroso que tienen los fenómenos naturales y que pueden aumentar por la intervención del hombre.
- ✓ La *exposición* representa la distribución de todo lo material que está en riesgo y que se encontrará afectado y expuesto (bienes materiales y población) ante un suceso peligroso.
- ✓ La *vulnerabilidad* está directamente asociada al desarrollo por cuanto está definida por las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia del evento peligroso. Es la capacidad de hacer frente a un evento de peligro.
- ✓ La *incertidumbre* que involucra las dimensiones del riesgo no cuantificables y se refiere a las limitaciones en el estado de conocimiento y las indeterminaciones jurisdiccionales, administrativas y legislativas. Este concepto surge, cuando no se puede cuantificar y se desconoce alguna de las tres dimensiones mencionadas.

Andrade (2005) explica que la peligrosidad, la vulnerabilidad y la exposición constituyen el riesgo. El disparador inmediato (la peligrosidad), plantea desafíos variados

según sea el tipo de proceso involucrado. Cuando no se puede caracterizar estas tres dimensiones o cuando no hay conocimientos sobre ellas, ya no se trata de “riesgo” sino de “incertidumbre”. Se trata de problemas que requieren una respuesta urgente por los valores que están en juego (bienes, vidas, sociedades, culturas). El abordaje de la incertidumbre que crece a expensas del desconocimiento en cada de las dimensiones, se encuentra en la trama de las relaciones sociales, de la toma de decisiones y de la subjetividad.

Analizar el riesgo es aplicar conceptos y técnicas desarrolladas en varias ciencias para lograr como resultado una evaluación de los diversos problemas que puedan afectar a una comunidad y al medio ambiente con el cual interactúan (Irurzun y Zirulnikoff, 2004a). Cardona (2003: 23) sostiene que *“la gestión del riesgo debe ser, en forma explícita, un objetivo de la planificación del desarrollo; entendiendo desarrollo no sólo como mejora de las condiciones de vida sino también de la calidad de vida y del bienestar social”*.

En esta tesis se proponen mapas elaborados en función de la exposición y del peligro, para lo cual se consideraron los datos reunidos en los diferentes capítulos: mapas elaborados de usos del suelo donde figuran los lugares con servicios para la comunidad, las zonas más afectadas extraídas de entrevistas a informantes claves y del diario local, los planos con las curvas de nivel actuales, la información de valores máximos de marea en los últimos cien años así como información de la infraestructura portuaria que puede ser expuesta en un evento de inundación y la ubicación de las diferentes redes de servicios.

Para la realización de las entrevistas, se diseñó una planilla con preguntas acotadas que sirvieron básicamente para detectar el estado del conocimiento que tenía la población con respecto al tema de investigación (Anexo I). Las entrevistas se realizaron a diferentes informantes clave como por ejemplo bomberos, dueños de locales ubicados en la zona céntrica de la ciudad, personal de museos, mecánicos, agrimensores, integrantes de la Sociedad de Fomento y habitantes de las zonas más afectadas. Esta metodología se encuentra ampliada y desarrollada en el capítulo 9.

PARTE 2

En este apartado se hace una descripción del área de estudio y se estudian los parámetros morfométricos de la cuenca. Se realiza una caracterización climática y se estudian las mareas en Ingeniero White. Se agrega un análisis del uso del suelo actual y proyectado conjuntamente con un estudio del crecimiento de la trama urbana.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El puerto Ingeniero White se halla emplazado en la margen norte del estuario de Bahía Blanca. Por ubicarse en un área de transición tierra aire agua, se encuentra sujeto a un fenómeno de características muy importantes para este estudio como son las mareas.

A lo largo de la costa norte del estuario se localizan pequeños cursos fluviales que desembocan en el sistema estuarino: los ríos Sauce Grande y Sauce Chico y los arroyos Napostá Grande y Saladillo de García y el canal Maldonado (Perillo y Piccolo, 1991). El Napostá Grande y el Sauce Chico son los que proveen la mayor cantidad de entrada de agua al estuario (Piccolo y Perillo, 1997).

El mar y el río confluyen en este estuario. La complejidad del mismo se configura en la combinación de los caudales que vienen del continente y la variación de los niveles del mar. Se genera así una zona rica en recursos para el hombre que es utilizada como asentamiento de sus poblaciones.

Toda el área conforma una zona baja, rodeada de canales de agua no permanente que pasan a través de terrenos transitables con escasa y rala vegetación. Benedetti (1997) la describe como un área costera cubierta de vegetación halófila, con inmensos terrenos llanos, con presencia de plantas y arbustos, intercalado con espacios desnudos y blanquecinos. Es una zona litoral donde se destacan los suelos arcillosos y salobres con pastos salados. La costa del estuario, hasta la cota de 10 m, está ocupada por la estepa halófila, integrada por arbustos, subarbustos y hierbas halófitas, que llegan a confundirse con las especies propias de la estepa pampeana y del bosque xerófito (Verettoni y Aramayo, 1976). La zona se halla ubicada en la denominada formación Platense y formación Querandinense, lindera al faldeo que corre paralelo a la costa. Del área de estudio fue extraída arena para el emplazamiento del ferrocarril (Di Nardo, 2005).

Bahía Blanca pertenece a un remanente de un complejo sistema deltaico Pleistoceno Tardío – Holoceno Temprano, formando un estuario en el emplazamiento de Ingeniero White. Este ambiente presenta una amplia planicie de marea con escasas concentraciones de marismas bajas dominadas por *Spartina* y *Zostera* (Proyecto de estudio sobre cambio climático en Argentina, 1997). El área del estuario de Bahía Blanca se encuentra en un avanzado estado de retroceso debido a la falta de aportes sedimentarios tanto de los ríos como de la plataforma interior (Perillo, 1989).

El estuario de Bahía Blanca, responde a una clasificación elaborada por Piccolo y Perillo (1997) que lo ubica como estuario primario, originado por procesos terrestres o tectónicos. A su vez, una nueva clasificación dependiente del origen del valle y del relieve, lo ubica en la categoría de antiguo valle fluvial, formado por la inundación del mar en los valles fluviales Pleistocenos – Holocenos durante la última transgresión postglaciaria. Son costas de relieve bajo producidas por el relleno sedimentario del río. Posee una forma de embudo (Cuadrado *et al.*, 2005) con su lado más pequeño en un extremo y otro lado más grande en el otro extremo en el mar. Una gran cantidad de islas se desarrollan en su interior y existen numerosos canales interconectados por donde discurre la marea en sus movimientos de pleamar y de bajamar. La configuración geomorfológica del área costera se caracteriza por una densa red de canales de marea, de variadas profundidades y dimensiones, en su mayoría de diseño meandriforme (Giagante *et al.*, 2008) También lo describe Piccolo (1987) como un área irregular de forma triangular.

Existe una fuerte diferenciación entre el ámbito marino y el ámbito continental, cuyo contacto se establece a través de una amplia faja costera sometida a los efectos de marea. Quedan descubiertos en bajamar, un conjunto de islas sedimentarias surcadas por canales de marea, identificándose también el canal de acceso a puertos y un laberinto de canales secundarios. En pleamar, el agua penetra profundamente tierra adentro, creando un ambiente anfibio salino dejando al descubierto sólo islas no inundables. En el cangrejal alto cubierto por las pleamares, se desarrolla vegetación halófila y en el cangrejal bajo, se observan los peladales (Atlas Total de la República Argentina, 1984).

La característica fundamental del área de estudio es la extrema horizontalidad del terreno provocada por la falta de pendientes que impiden el escurrimiento del agua, fenómeno que ocasiona anegamientos importantes, especialmente en el sector cercano a la costa. Es una zona ampliamente ligada al flujo y reflujos de las aguas, las mareas son un protagonista importante en esta área. Es el hábitat de los cangrejos, los que contribuyeron a activar la erosión superficial, dificultando el arraigo de especies vegetales colonizadoras (Bróndolo *et al.*, 1994).

En esta particular geografía, se debe tener presente la estrecha relación de equilibrio que existe entre la morfología del medio y el comportamiento hidrodinámico del agua. Los estuarios son sitios muy propicios para el desarrollo humano e Ingeniero White no es ajeno a esta realidad, ya que se ha emplazado a su orilla, como muchas ciudades y puertos del mundo sometiendo la zona a una gran actividad antropogénica que modifica las condiciones naturales generándose problemas de muy variado tipo.

3.1. Tipo de suelo

El INTA ubica el suelo del área de estudio en el orden molisol, suborden ustol, gran grupo haplustol, subgrupo típico, de textura franco arcillosa y bien drenado. Los molisoles son suelos donde la falta de humedad resulta crítica en regiones secas ocupadas por los mismos. Las inundaciones periódicas son un peligro para estos suelos. Poseen entre otras propiedades, estructura granular moderada y fuerte, que facilita el movimiento agua aire y dominancia de arcillas (INTA *et al*, 1995).

Caló *et al.* (1999) describen la zona comprendida entre los 0 m y 10 m como a una antigua llanura de marea con playas, ahora emergida, cubierta por depósitos de laguna costera, albufera y materiales de la última regresión marina del Pleistoceno. Desde los 10 m hasta las zonas más altas, afloran sedimentos eólicos o depósitos de cono aluvial. Desde el área costera hasta la curva de nivel de 10 m a 12 m existen depósitos con arenas muy finas con algo de conchilla, limos arenosos y limos arcillosos y arenas arcillosas (Fidalgo, 1983). Las transgresiones cuaternarias cubrieron el área vecina al estuario con sedimentos marinos, predominando las capas de textura franco limosa a franco arcillosa. El área de estudio se halla emplazada hasta la cota de 10 m en lo que se denomina llanura de marea emergida inferior y a partir de esa cota en la denominada llanura de marea emergida superior. En esta unidad de mapa geológico ingenieril, la profundidad del acuífero se halla a menos de 4 m (Caló *et al.*, 1999). Las distintas características de los sedimentos asociados a las distintas geoformas, trajeron aparejados problemas en la urbanización (Caló *et al.*, 1997). La existencia de aluviones de los sedimentos que acarrear los materiales más gruesos se hallan asociados a inundaciones en las zonas bajas. Problemas en las viviendas y en las obras de infraestructura denominados problemas de índole geotécnica, surgieron en la zona del llano de marea emergido (Caló *et al.*, 1997).

De Lucía (2007) relata en su libro las impresiones de la población a principios del siglo XX y detalla que el suelo de Ingeniero White era arcilloso, de barro color verdoso cubierto por una capa blanquecina de salitre, que al secarse se fragmentaba como un ilimitado rompecabezas. Resultaba poco confiable para erigir construcciones pesadas, por su consistencia plástica y su densidad variable debido al agua de mar de la primera napa freática que lo saturaba.

El Soil Conservation Service (1972) define cuatro grupos de suelos según sus características hidrológicas. Esta clasificación es utilizada para estimar el escurrimiento directo a partir de una precipitación y permite determinar cómo responde el suelo ante una precipitación de tipo torrencial. Suelos con características análogas en cuanto a perfil se

refiere (profundidad, textura, estructura, etc.) responden de manera similar ante precipitaciones de gran milimetraje. Los cuatro grupos hidrológicos son:

- ✓ Grupo A: Alto grado de infiltración y transmisión aún cuando están muy húmedos. Valores de infiltración básica superiores a 60 mm/h. Suelos profundos. Escaso potencial de escurrimiento. Incluye arenas profundas con poco limo y arcilla, loess muy permeables y gravas.
- ✓ Grupo B: Moderado grado de infiltración. Valores de infiltración básica de 25 a 40 mm/h. Suelos moderadamente profundos. Moderado grado de transmisión. Suelos franco arenosos y franco profundos.
- ✓ Grupo C: Bajo grado de infiltración y transmisión. Valores de infiltración básica de 10 a 18 mm/h. Presencia de capas que limitan la infiltración y transmisión hídrica. Suelos franco arenosos someros y con bajo contenido de materia orgánica. Baja permeabilidad cuando están saturados.
- ✓ Grupo D: Grado muy bajo de infiltración y transmisión. Valores de infiltración básica menores a 10 mm/h. Capa freática alta e impermeable cercana a la superficie. Arcillas expansivas. Algunos suelos salinos.

En síntesis, las características extraídas de la clasificación del INTA (INTA *et al.*, 1995) para el área de estudio permitieron categorizar el suelo en uno de estos grupos. La cuenca se ubica en el tipo de suelo C, de lenta transmisión e infiltración de agua cuando están húmedos. Suelos de poco espesor o textura moderadamente fina a fina. Pueden estar ligados a la existencia dentro del perfil, de una capa que impide u obstaculiza el descenso del agua o bien a porcentajes excesivos de sales. Suelos con bajo contenido orgánico y alto contenido de arcilla. Pueden ser pobremente drenados a moderadamente bien drenados con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad. (USDA-SCS, 1964; United States Bureau of Reclamation, 1966; Senciales González, 1999; Chow *et al.*, 1999; Torrero, 2009). Esta clasificación será empleada en el cálculo de la precipitación neta realizada en el Capítulo 8.

3.2. Topografía natural

La zona de estudio configuraba antiguamente un área con una pendiente suave en forma de abanico que vertía sus aguas naturalmente hacia el estuario. No se encontró información de cotas de terreno natural existentes antes de la llegada del ferrocarril sólo se deduce a través de las fotografías aéreas, que existía una continuidad en pendientes todo a lo largo de la costa hacia ambos lados de las vías férreas.

A principios de siglo XIX el agua escurría por canales de marea, que penetraban en la bahía. De Lucía (2007) explica con detalle cómo era la realidad en esa época. Las calles de barro tenían frecuentes pantanos y grandes surcos producidos por la huella de los carros. A la puerta de muchas viviendas solía haber un bote utilizado por sus moradores para movilizarse cuando las mareas inundaban las calles y pasaban por debajo de las casas construidas sobre pilotes de madera.

A través de la lectura de fotografías aéreas del año 1965, donde el área se encontraba escasamente urbanizada, se pudo observar e identificar la morfología en sus orígenes de toda la zona en conjunto. Mediante deducción e inducción en la visión estereoscópica, se hizo abstracción de los elementos antropogénicos y se observó lo que era en esa época el terreno natural.

La parte central de la fotografía aérea, corresponde a lo que hoy constituye el área industrial y de petroquímicas (Fig. 3.1). Se identifica una mancha salitrosa blanca que marca la entrada del agua de mar por la parte norte, correspondiente a puerto Galván. La escasa pendiente y el suelo salino, dejaron manchones blancos en la foto cuando el agua se retiraba del territorio. Se marcó la penetración del mar en una amplia zona del área de estudio. El movimiento laminar del agua desde zonas donde el hombre ha rellenado el terreno (puerto Galván e Ingeniero White y estación ferroviaria) hacia los lugares más bajos pudo ser inferido a través de estas fotografías aéreas. Estos rellenos fueron permitiendo el emplazamiento de actividades desarrolladas por el hombre que modificaron el devenir natural de las cosas.

La ciudad de Ingeniero White drenaba sus aguas en esa fecha, en la zona hoy ocupada por la empresa Profertil, a través de un canal natural visible en la interpretación de la fotografía aérea. Procesos erosivos de denudación del suelo, por las entradas y salidas del mar, son visibles a partir de las fotos. Estas situaciones potencialmente peligrosas para la instalación del hombre ya eran un hecho en Ingeniero White en 1965.

Se encontró información de alturas ortométricas de datos del año 1937, ya que la cota del terreno natural en el cruce de calle Dasso con calle Cabral era de 3,40 m y en la esquina de calles Belgrano y Magallanes la cota alcanzaba los 2,80 m (Fig. 3.1) (Fig. 1.2). La zona se encontraba en esa fecha por debajo de la cota 10 según la información extraída de las cartas del IGM.

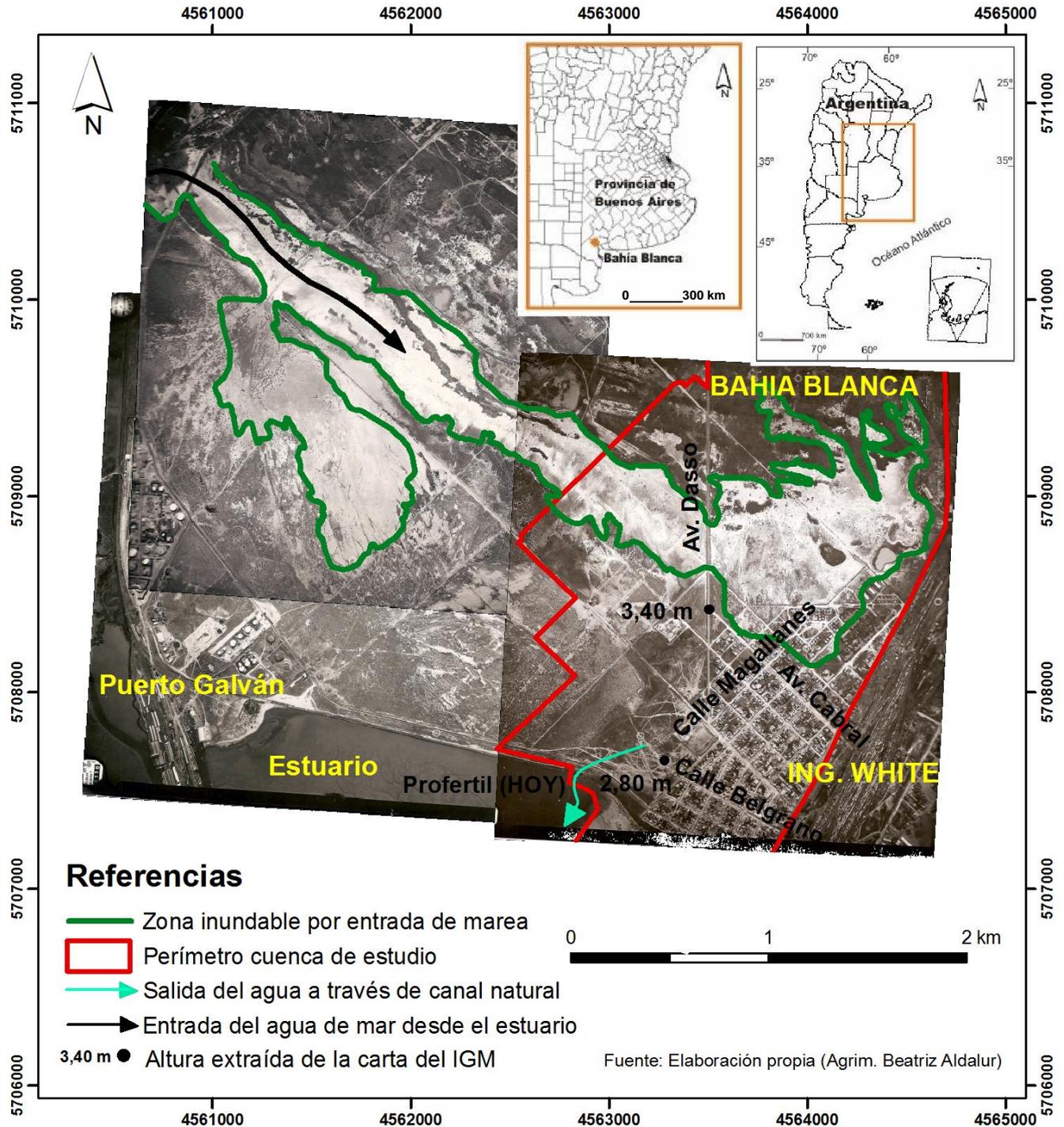
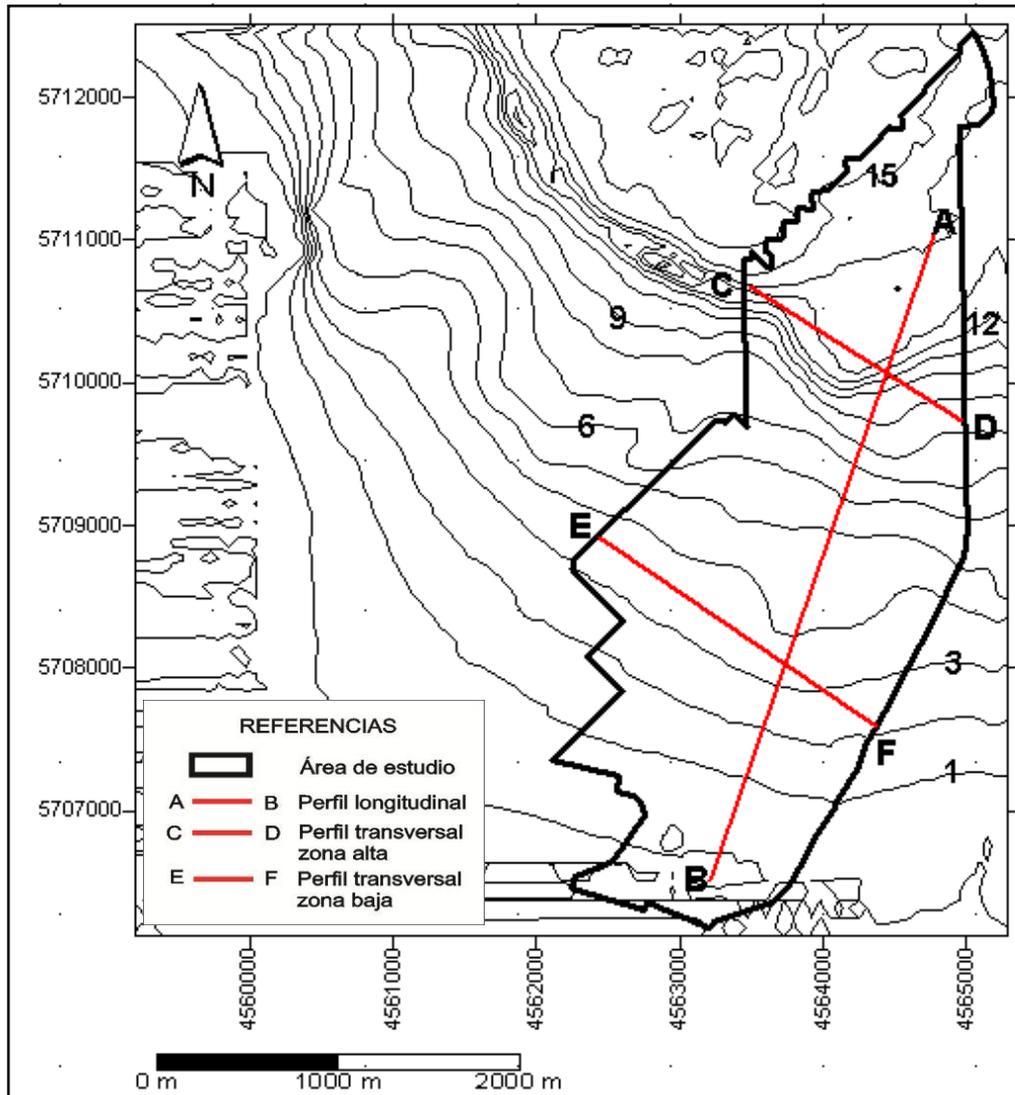


Figura 3.1. Interpretación de las fotografías aéreas año 1965.

Como ya se mencionó en la parte metodológica del capítulo 1, el escurrimiento natural en esta topografía no alterada por el hombre, fue elaborado a través de las curvas de nivel de esa fecha provistas por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca (Fig. 3.2). En esta figura también se ubica el emplazamiento de los tres perfiles

realizados. Las curvas con equidistancia de 1 m fueron digitalizadas y a partir de ellas se confeccionó un modelo digital de elevaciones (Fig. 3.3). Se superpuso el archivo vectorial de la cuenca a ambas figuras para ubicar el área de estudio. No es posible observar en ellos el detalle del canal natural emplazado donde hoy se encuentra la empresa Profertil, dado que sus cotas se encuentran entre los valores enteros de las curvas representadas.



**Figura 3.2. Curvas de nivel año 1966 – 1967. Equidistancia 1 m.
Elaboración propia sobre la base de altimetría del Departamento de Catastro
de la Municipalidad de Bahía Blanca**

Las curvas de nivel representativas del área en su etapa de escasa urbanización, muestran un relieve desde los 0 m hasta los 8 m en suave pendiente hacia el estuario. A partir de los 8 a 9 m de altura, el nivel asciende materializando una barda que corre paralela a la línea de costa. Al noroeste, sobre la línea de costa, las curvas de nivel se acercaban entre sí, lo que muestra un área de rápido ascenso a la cota de 4 m, permitiendo en este

lugar la entrada de las aguas, hecho que también se observó en las fotografías aéreas. No se trabajó con las curvas de las cartas topográficas del IGM, ya que ellas tienen una equidistancia de 5 m por lo que sólo dos curvas de nivel materializan la zona.

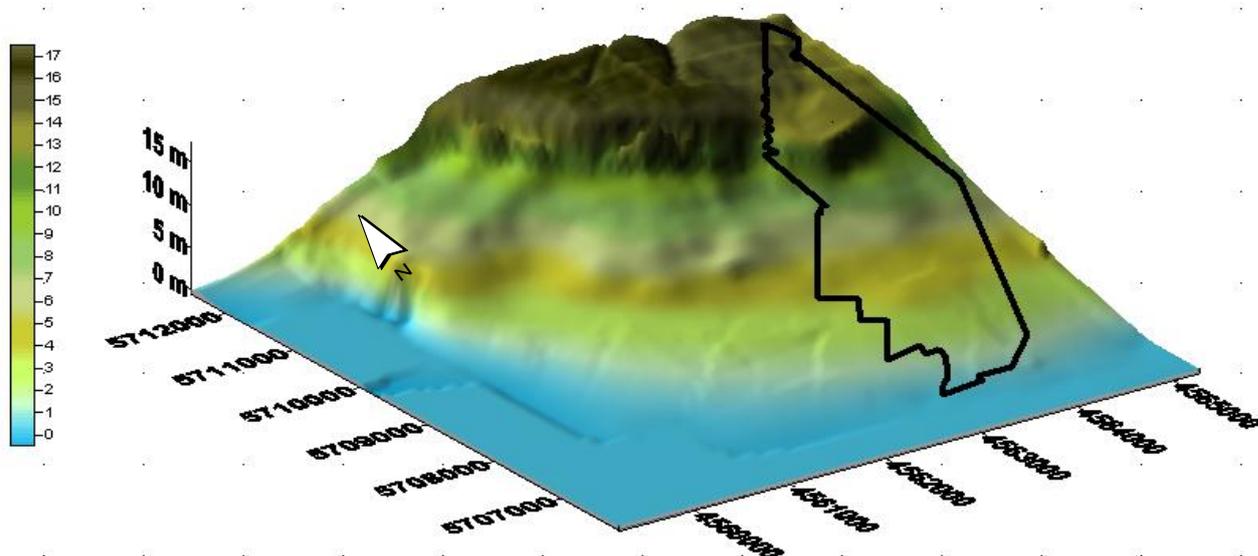


Figura 3.3. Modelo digital de elevaciones con escala en metros y detalle de ubicación del área de estudio. Año 1966 – 1967. Elaboración propia.

El modelo digital de elevación de la zona, permitió visualizar con mejor detalle la planialtimetría resultante de las curvas de nivel mostrando el relieve existente previo a la urbanización, ya que las cotas son fruto de datos de terreno natural sin agregados de cotas de pavimentos. Se dibujó un perfil longitudinal de la cuenca, desde las zonas más altas hasta el estuario. La figura 3.4 muestra su suave pendiente desde alturas cercanas a los 14 m hasta el 0 m en el mar. Dada la escasa pendiente del terreno, se buscó una escala gráfica en altura que permitiese ver mayor detalle en los cambios de la topografía.

Se elaboraron también perfiles transversales de la cuenca para las curvas de nivel de año 1966 – 1967 (Fig. 3.5 y 3.6). La figura 3.4 permite analizar las pendientes: desde la costa (B) hasta los 3.600 m, la pendiente natural era del 0,0025 pues asciende 9,40 m en ese tramo. A partir de ese punto la pendiente cambia a un valor de 0,008 hasta alcanzar a los 14 m de altura una topografía casi llana.

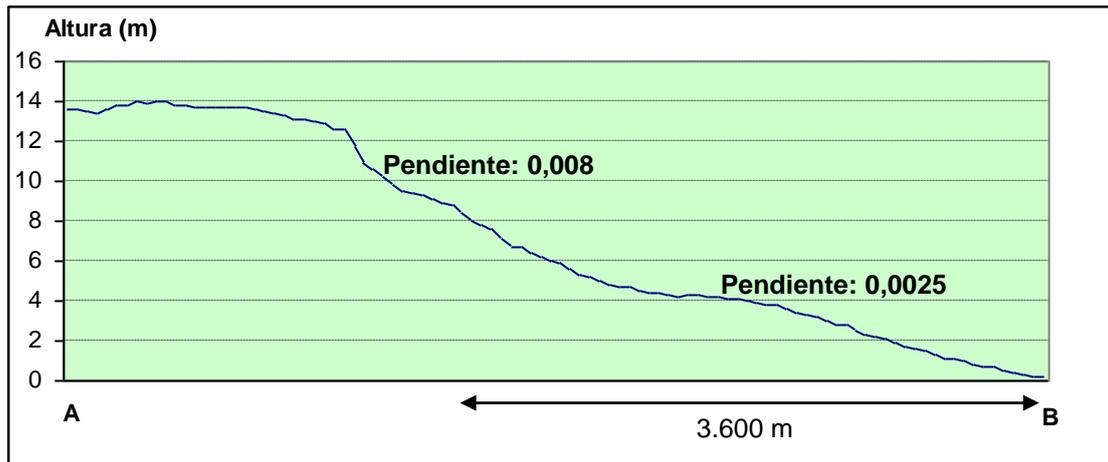


Figura 3.4. Perfil longitudinal (A-B) del terreno. Año 1966 – 1967. Elaboración propia.

Los perfiles transversales del área, obtenidos sobre la base del mapa de curvas de nivel facilitado por la Dirección de Catastro, permiten observar la escasa diferencia de nivel existente. En la zona alta la pendiente era de 0,006, pendiente que surge de la diferencia existente entre la cota 12,50 m y la cota 8 m, que permitía el paso del agua hacia el este de la cuenca. En esta zona se encuentra emplazado en la actualidad el barrio Villa Rosas (Fig. 3.5). En la zona baja existía una pendiente nula, correspondiente a la altura comprendida entre los 3 y los 4 metros sobre el nivel del mar (Fig. 3.6).

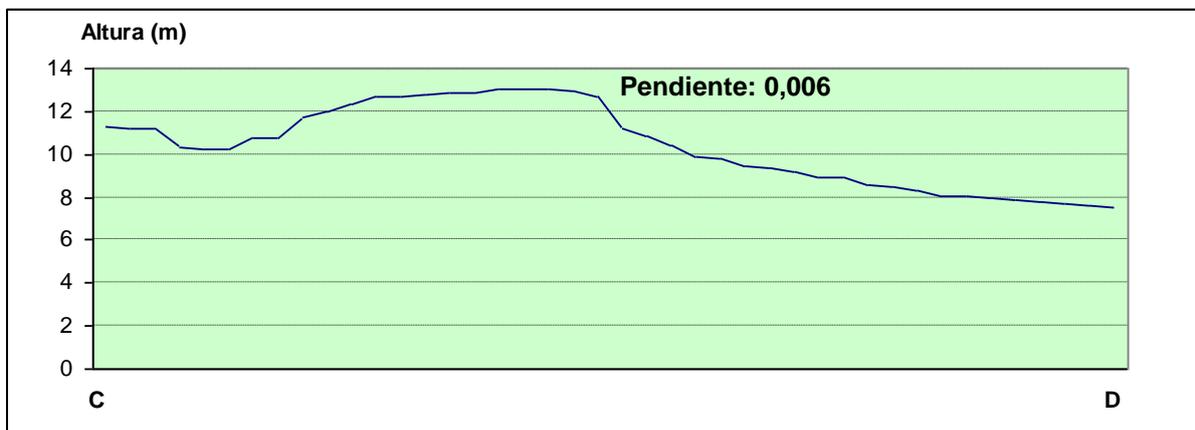


Figura 3.5. Perfil transversal (C-D) en la zona alta. Año 1966 – 1967. Elaboración propia.

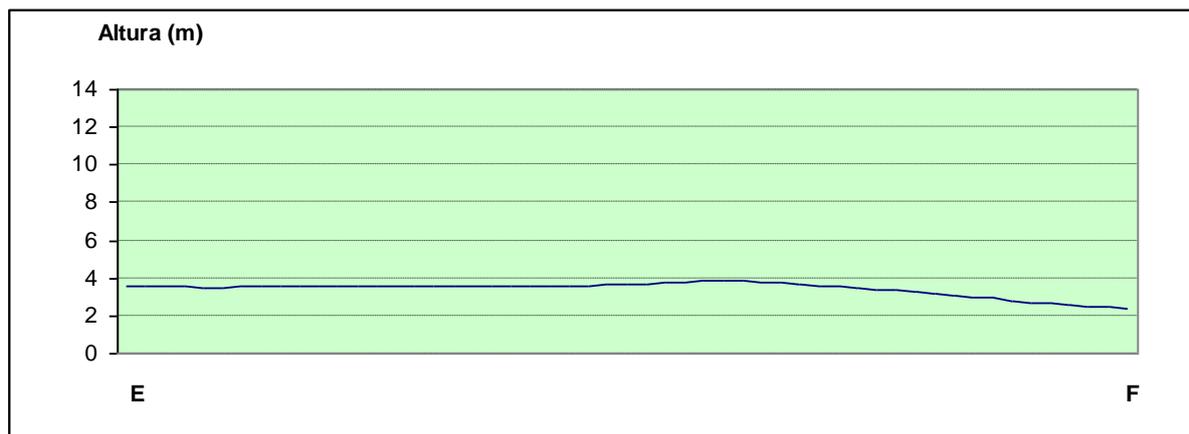


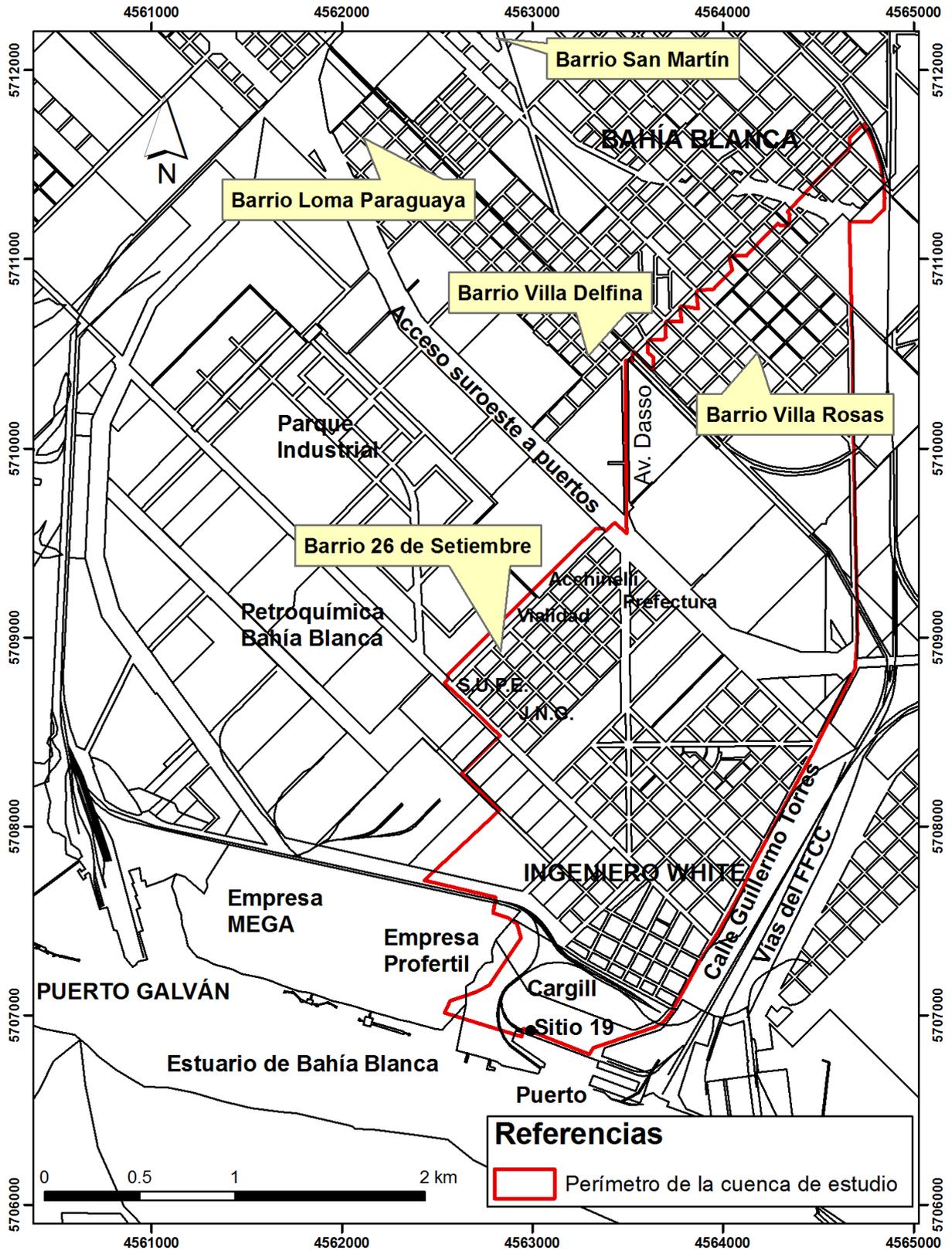
Figura 3.6. Perfil transversal (E-F) en la zona baja. Año 1966 – 1967. Elaboración propia.

3.3. Transformación del relieve

La población se fue asentando en el área de estudio. Numerosas familias se establecieron en la zona para vivir de los recursos que ofrecían fundamentalmente las actividades portuarias y pesqueras. Se instalaron cercanas al estuario en una topografía baja con casas edificadas sobre pilotes para permitir el paso del agua de mar.

El área se fue transformando con los años. Actualmente todo se presenta muy distinto a lo observado en las primeras décadas del siglo XX. La intervención del hombre rellenó zonas donde antes penetraban los canales de marea. Con el paso del tiempo el área se fue antropizando y el hombre desplegó su infraestructura sobre esta zona. Las aguas fueron derivadas a través de los desagües pluviales, canales a cielo abierto y cordones cunetas. Se realizaron obras colocando alcantarillas y sumideros para permitir el paso del agua hacia la ciudad de Ingeniero White. Esta ciudad recibió así aguas de los barrios Villa Delfina, Villa Rosas, San Martín y Loma Paraguaya, barrios aledaños a lo que hoy configura la cuenca en la actualidad (Fig. 3.7).

La avenida de circunvalación o acceso suroeste a puertos dividió el área de la cuenca en dos sectores bien definidos, el agua se mueve del sector más alto al más bajo pasando a través de alcantarillas. El sistema de drenaje ahora dispuesto no sigue los condicionamientos naturales. La figura 3.7 muestra el área actual de la cuenca, la cual medida cartográficamente abarca 593 hectáreas (5,93 km²).



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base del archivo vectorial de la Municipalidad de Bahía Blanca, georreferenciado con puntos de control terrestre.

Figura 3.7. Ubicación del área de estudio con detalle de barrios y empresas que la rodean.

La Ley 8.912 que regula el uso del suelo permite planificar la subdivisión de la tierra. Esta ley sólo admite la creación de nuevas parcelas en áreas inundables, si éstas son sometidas a un relleno. Como se trata de una labor costosa, aún se pueden encontrar lugares que permanecen intactos y se encuentran poco modificados. Estos lugares se los puede ver hoy libres de urbanización. Las curvas de nivel actuales, con agregados de las cotas de cordones cunetas y de canales a cielo abierto, permiten ver el cambio ocurrido en el área. La curva de nivel de 4 m se ha alejado de la costa y una zona baja de depresión se ha formado en el interior emplazada en lo que comprende parte del área de estudio en la zona este de la cuenca y por encima de los 3,5 m sobre el nivel del mar (Fig. 3.8). En esta figura se ubica también el emplazamiento de los tres perfiles realizados.

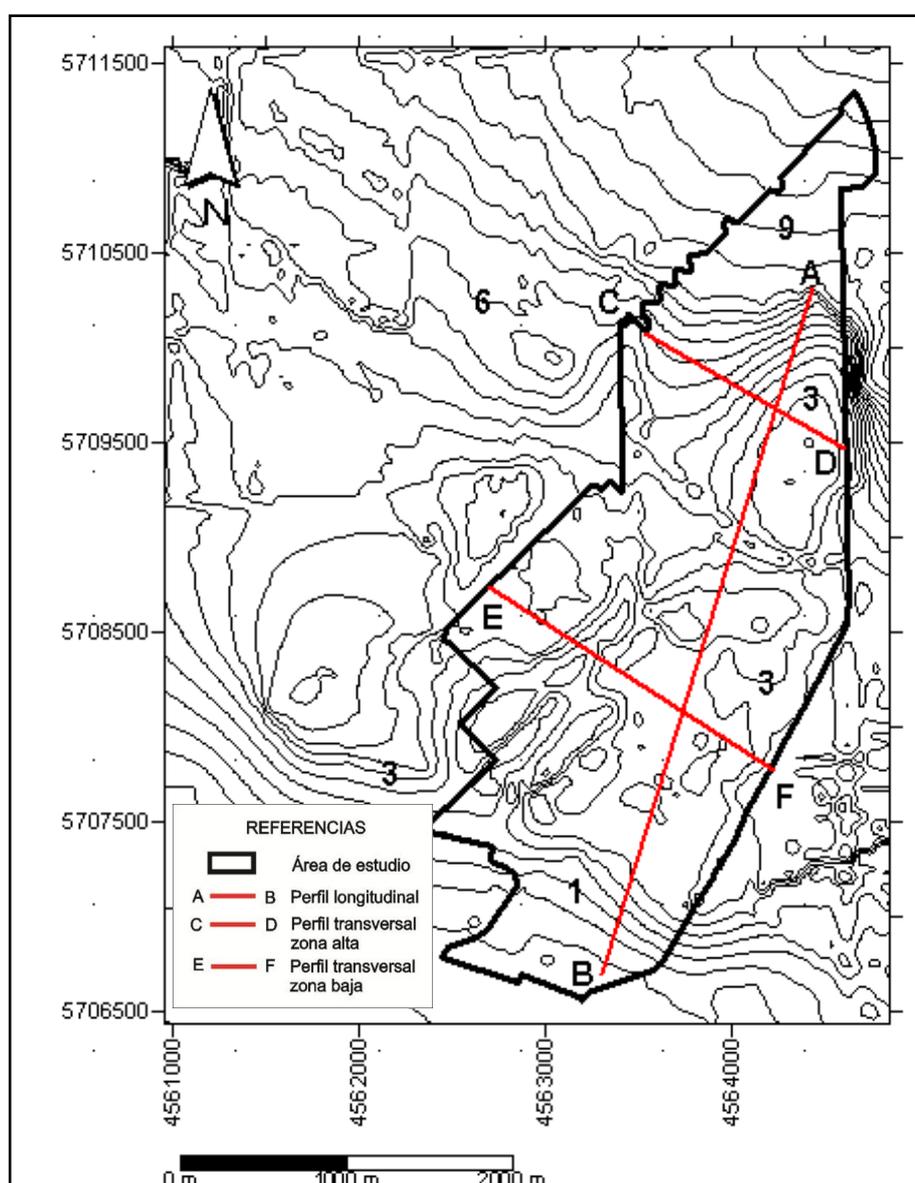


Figura 3.8. Curvas de nivel año 2008. Equidistancia 50 cm. Elaboración propia.

El modelo digital de elevación en la actualidad ha agregado saltos y cambios bruscos de altura y muestra claramente los desagües de los canales existentes a cielo abierto (Fig. 3.9). Para la realización de este modelo se contó con cotas en toda el área de estudio, que permiten mostrar los distintos quiebres de la topografía. El camino de la avenida de circunvalación y los canales a cielo abierto hechos por el hombre son detalles que se destacan en este modelo. La zona central de la cuenca con la depresión mencionada, se ve exagerada por la escala gráfica vertical utilizada, que permite visualizar mayores detalles.

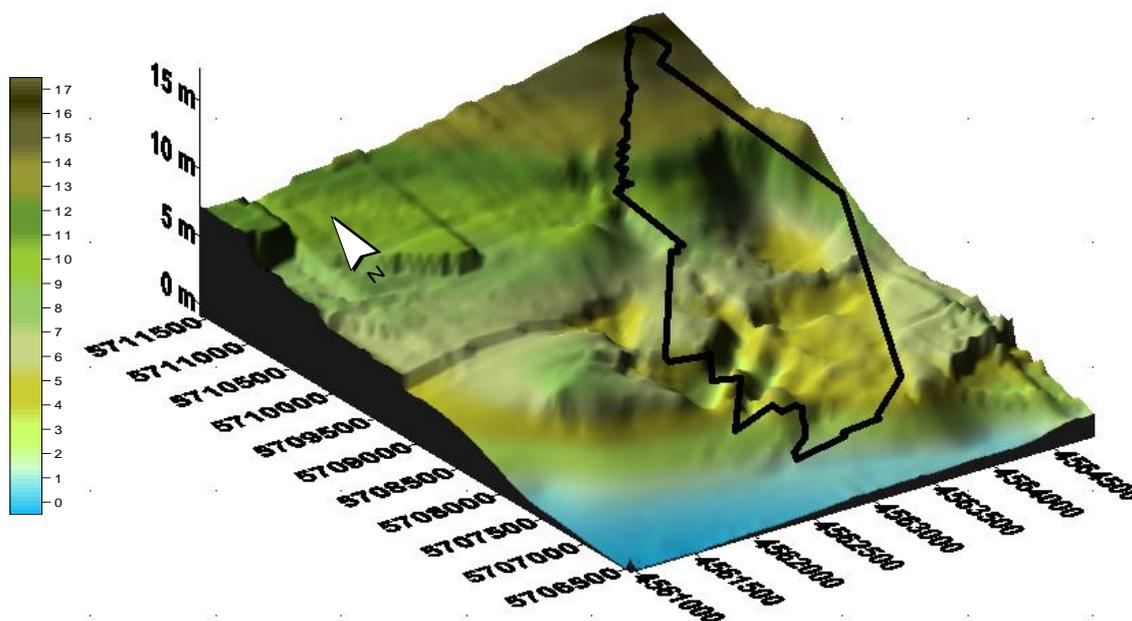


Figura 3.9. Modelo digital de elevaciones con escala en metros y detalle de ubicación del área de estudio. Año 2008. Elaboración propia.

A partir de las curvas de nivel de año 2008 se elaboró un perfil longitudinal (Fig. 3.10) y dos perfiles transversales, uno en la zona alta y otro en la zona baja de la cuenca (Fig. 3.11 y 3.12). El perfil de la figura 3.10 muestra los distintos cambios sufridos por la topografía. La cota alcanzada en el muelle es de 4,37 m (Sitio 19). Desde allí y en los primeros 1.500 m aledaños a la costa, se produce una disminución en la altura existente relacionada al nivel medio del mar. Luego se observa una depresión cortada por la avenida de circunvalación. Finalmente el perfil alcanza una pendiente de 0,002 en el tramo final.

El perfil transversal ubicado en la zona alta de la cuenca, entre la cota de 3 m y la cota de 6,50 m marca una depresión existente emplazada en una zona aún no urbanizada,

que configura una parcela sin subdividir. Existe una pendiente en ascenso hacia el límite externo de la cuenca, actualmente delimitada por las vías del ferrocarril (Fig. 3.11).

El perfil transversal ubicado en la parte baja, alcanza la cota de los 4 m en el suave ascenso hacia los bordes externos que marca el límite de la cuenca. Se observa en este perfil, el canal a cielo abierto de un metro de profundidad y la meseta de 3 m donde se encuentra emplazada la ciudad (Fig. 3.12).

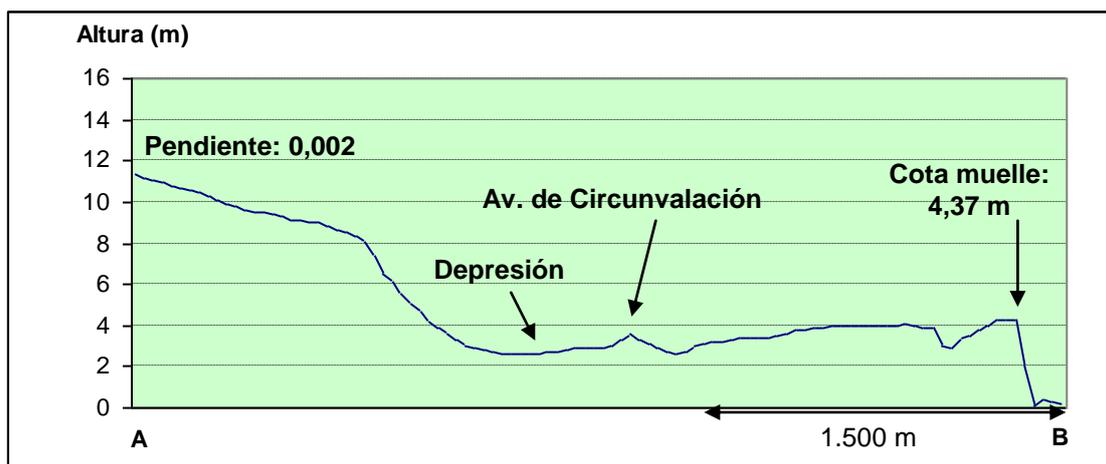


Figura 3.10. Perfil longitudinal (A-B) del terreno. Año 2008. Elaboración propia.

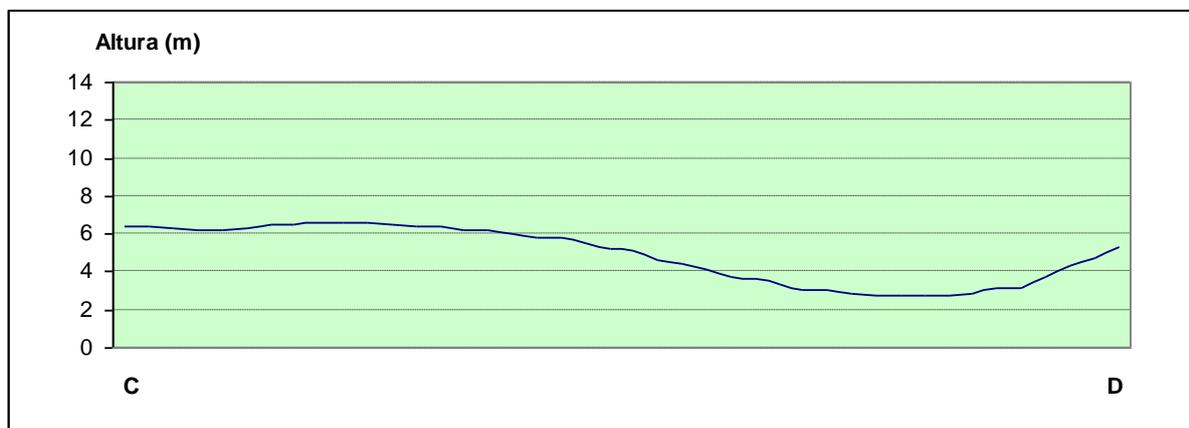


Figura 3.11. Perfil transversal (C-D) en la zona alta. Año 2008. Elaboración propia.

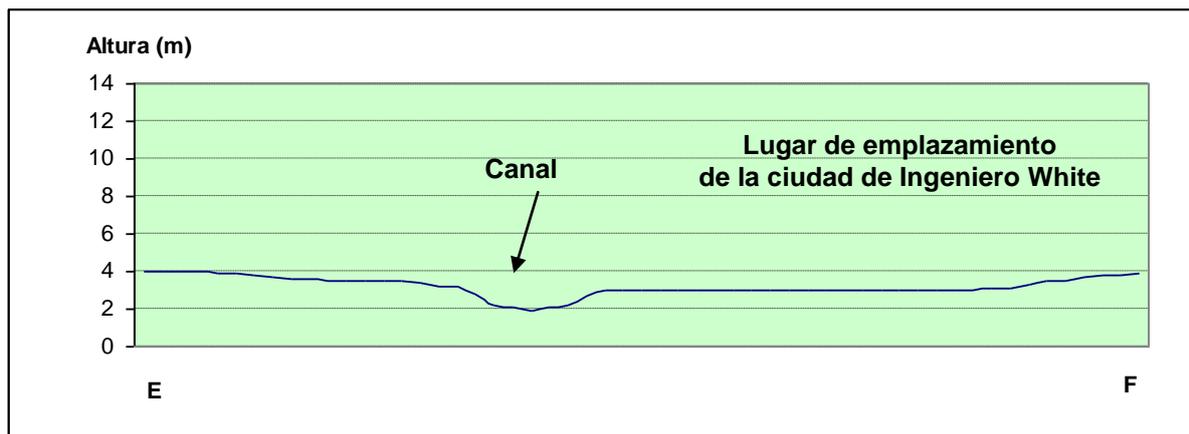


Figura 3.12. Perfil transversal (E-F) en la zona baja. Año 2008. Elaboración propia.

En la vista panorámica del área de estudio de la fotografía 3.1 se observan las vías férreas que marcan uno de los límites de la cuenca, el estuario con el puerto de Ingeniero White en la margen izquierda y las empresas del Polo Petroquímico en la parte superior derecha de la fotografía.



Fotografía 3.1. Vista aérea de Ingeniero White.
Fuente: Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca (CGPBB).

La zona central del casco urbano más antiguo de Ingeniero White se halla emplazada entre los 2 y 3 m sobre el nivel del mar y la zona linder a la cuenca ocupada por empresas del Polo Petroquímico alcanza alturas aproximadas de cincuenta centímetros por encima de la cota del muelle en el Sitio 19.

El Sitio 19 posee una cota relacionada con el cero del IGM de 4,37 m con lo cual la ciudad queda a una altura inferior frente a las áreas que lo rodean. Muchos de los trabajos de nivelación de la zona del Polo Petroquímico se encuentran relacionados al cero de la Municipalidad ubicado en el Sitio 19 que tiene una cota en el muelle de 6,50 m referida a ese cero.

En síntesis, la urbanización lograda con la construcción de caminos, carreteras, vías ferroviarias, emplazamiento de industrias, viviendas y servicios portuarios, condicionó el camino del agua desde las partes altas hacia las bajas y originó la formación y movimiento de sedimentos, provocando la agradación del área. Las distintas zonas fueron cambiando su cota con relación al nivel del mar, se incrementaron depresiones en áreas expuestas y nuevos canales surgieron en esta geografía urbana. El muelle del puerto de Ingeniero White quedó a una altura superior respecto del casco principal de la ciudad. Los sedimentos transportados aguas abajo a través de los canales a cielo abierto, de los cordones cuneta y conductos, se fueron acumulando en otras áreas cambiando el flujo del agua. El área de estudio configura así una topografía casi llana, con marcadas dificultades para evacuar la salida del agua hacia el estuario.

4. ESTUDIO DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

El término morfometría fluvial se emplea para denotar la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial (Strahler, 1979). Este autor considera a la cuenca como un sistema geométrico plano, estudiado con el fin de cuantificar la evolución, definir el estadio en que se encuentra y evaluar su estado erosivo. En la morfometría fluvial se estudian diversas variables morfométricas que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje. Estas características desempeñan un papel esencial en el estudio de algunas componentes del ciclo hidrológico (erosión, infiltración, escurrimiento, etc) de una cuenca natural (Strahler, 1979; Jardí, 1985; Senciales González, 1999).

Las modificaciones humanas cobran gran importancia en el análisis de estas redes de drenaje. El hombre reduce o aumenta el caudal con la construcción de obras de arte, interviene en la creación de nuevos niveles de base (diques, presas) que modifican la energía del caudal aguas arriba y/o aguas debajo de las infraestructuras creadas (Senciales González, 1999), interpone conductos en los cruces de ruta y vías férreas y canaliza redes cambiando la trayectoria del agua. Lo que en un principio fue una red de drenaje natural, va transformando sus patrones originales en otros. Se puede observar que en algunos casos, la interferencia del hombre se limita a alcantarillas, puentes, canales que van desviando las aguas y que son considerados a la hora de establecer los parámetros morfométricos.

En otros casos, como el que se analiza en esta tesis, la intervención humana está presente en el mayor porcentaje de la cuenca y son las distintas infraestructuras las que van guiando y condicionando el camino del agua. También aquí es posible aplicar algunos de los parámetros morfométricos que se utilizan en las cuencas naturales, aclarando que sólo se utilizaron los de aplicación a drenajes superficiales.

En esta tesis se empleó un método propio de cuencas naturales a una cuenca antropogénica como son las cuencas urbanas analizando algunos de estos parámetros. Se eligió los que brindaron resultados útiles para su estudio y que se consideraron importantes para la gestión de la misma. Se hace aquí una analogía de una cuenca urbana con una cuenca natural.

Algunos de los índices de este capítulo, fueron hechos para ser aplicados en otros cálculos desarrollados en capítulos subsiguientes. Los índices y parámetros que se calcularon permiten caracterizar la cuenca y su comportamiento en eventos de precipitaciones.

4.1. Jerarquización de los cauces

Senciales González (1999) estableció la importancia de jerarquizar la red de drenaje para utilizarlas como unidades de diagnóstico y realizar posteriores análisis morfométricos. Como ya se mencionó en el punto 2.7, se determinó la jerarquía de cauces en la cuenca urbana mediante la aplicación del método de Strahler (1964). En una cuenca natural se define la jerarquía de los cauces asignando un orden número uno a las fuentes, o sea, a los extremos de la red que recogen la escorrentía. Los cauces de segundo orden son la resultante de la unión de dos o más segmentos de primer orden y así sucesivamente. Por lo que cuando dos corrientes de orden igual se juntan, al canal resultante se le asigna el orden anterior más uno. Cuando dos corrientes de diferente orden se juntan, el canal aguas abajo conserva el mayor de los dos órdenes (Strahler, 1964).

Para la cuenca urbana se siguió el mismo criterio, se marcó el flujo del agua a través de las calles, mediante las cotas cargadas en el SIG y la información provista por la Dirección de Vialidad Municipal. La información fue actualizada con información de campo. Se contemplaron los conductos existentes y se los consideró como drenajes conductores del agua. Los canales a cielo abierto construidos por el hombre y los cursos de agua naturales sobre terrenos sin urbanización formaron parte de esta jerarquización.

El resultado de la jerarquización después de trazada la red, se muestra en la tabla 4.1 y en la figura 4.1. Se reconocieron tres cuencas que drenan hacia el estuario de Bahía Blanca.

Orden Jerárquico	5	4	3	2	1	Total
Cuenca I			7	12	34	53
Cuenca II		1	2	9	23	34
Cuenca III	7	10	26	64	176	266

Tabla 4.1. Número de segmentos de los diversos órdenes jerárquicos.

La cuenca I corresponde a la zona Este que corre paralela a las vías del ferrocarril, un colector principal recibe todas las aguas por su lado derecho, alcanzando un orden 3. La cuenca II involucra al casco urbano de Ingeniero White, recibiendo la mayoría de sus colectores por el lado izquierdo formando una cuenca que no tiene simetría en su trazado y llegando a un orden 4. La cuenca III alcanza el orden 5 y desagota sus aguas a través de un canal (canal Profertil). A ella pertenecen la mayor cantidad de colectores que bajan de la parte Norte.

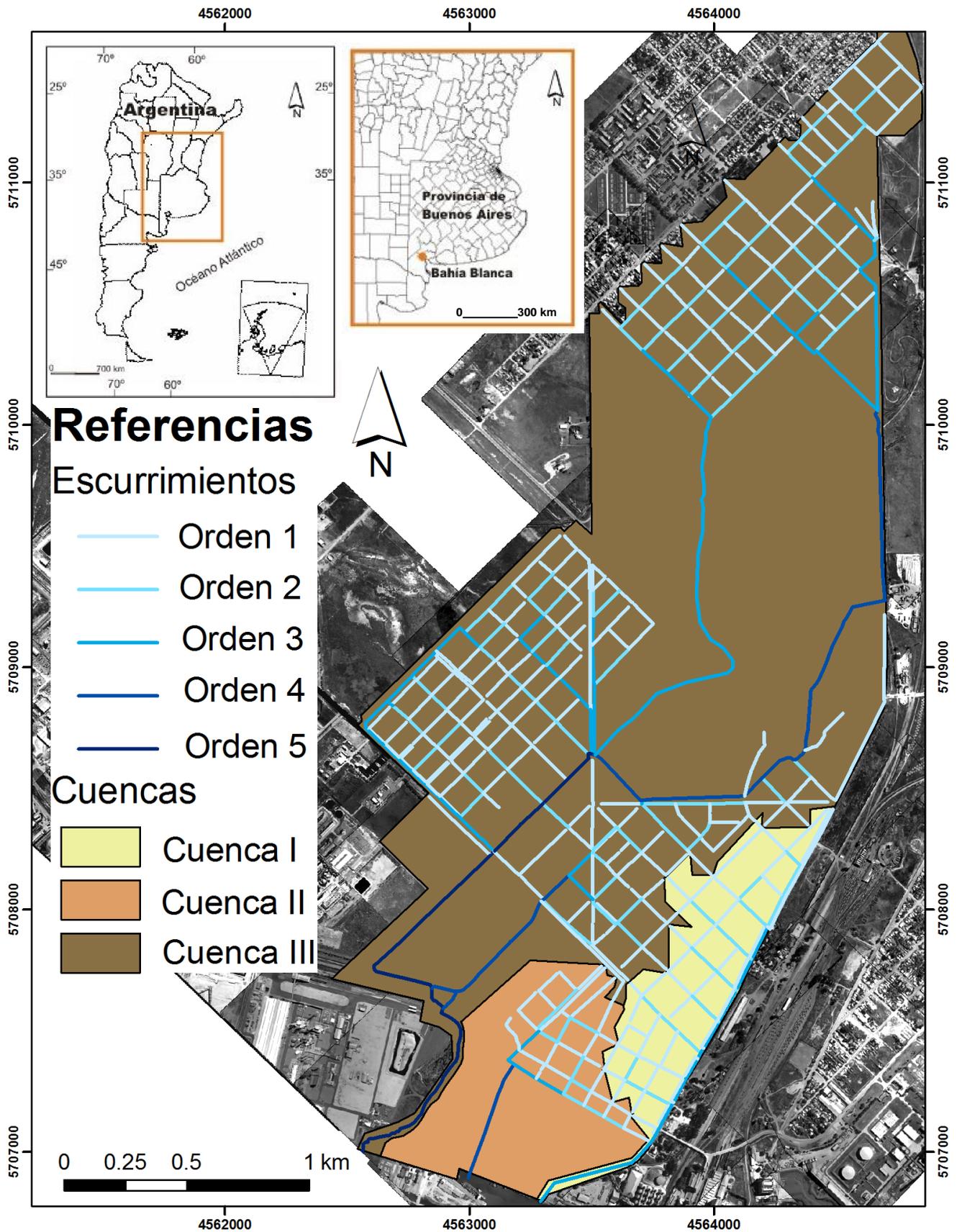


Figura 4.1. Representación cartográfica de los escurrimientos y de las 3 cuencas.

Donde la escorrentía era laminar no se materializó ninguna red. En este punto fue importante detectar los procesos laminares en las áreas no urbanizadas que posee la cuenca, se trató de delimitar claramente dónde la erosión se transformaba en un proceso estable (Senciales González, 1999). La fotografía aérea fue imprescindible para ello. Si bien la interpretación a vista desnuda (sin uso de instrumental como el estereoscopio de espejos) logró cumplir este objetivo, la importancia de la visual a través del relieve (visión estereoscópica) cobró un papel fundamental. En las zonas naturales de la cuenca, el cauce mínimo materializado respondió a la definición dada por Senciales González (1999: 39): *“cualquier incisión del relieve que de origen a una arroyada concentrada y que implique profundidades y amplitudes mayores a 30 cm continuadas a lo largo de más de 20 m hasta la unión con cauces de dimensiones similares o superiores”*.

4.2. Relación de bifurcación

La *relación de bifurcación* es la proporción que existe entre el número de segmentos de un orden (N_o) y el número de segmentos de orden inmediatamente superior (N_{os}) (Strahler, 1964, basado en Horton, 1945). El promedio **Rb** de estos valores parciales, se puede tomar como un valor representativo de la cuenca y es considerado característico del sistema y de su torrencialidad (Strahler, 1964).

$$Rb = N_o / (N_{os})$$

Rb = Relación de bifurcación

N_o = Número de segmentos de un determinado orden

N_{os} = Número de segmentos de orden superior

Gil (2009) analizó que los valores bajos suelen corresponder a cuencas de menor pendiente. Según Senciales González (1999) las altas relaciones de bifurcación indican, áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes y los bajos valores suelen presentar los más altos riesgos de inundación por concentración brusca de la escorrentía. En las cuencas naturales, los valores cercanos a 2 revelan áreas de escaso relieve (siendo casi imposible índices inferiores a 2) valores entre 3 y 5 corresponde a áreas de montaña sin demasiado control estructural y valores superiores a 5 indican fuerte dependencia de la estructura. Los valores medios de la Relación de Bifurcación obtenidos para las tres cuencas se transcriben en la tabla 4.2.

CUENCA	Número de cursos por orden					
	Relación de Bifurcación					
	Orden					Total
	1	2	3	4	5	Media
I	34	12	7			53
	2,83	1,71				2,27
II	23	9	2	1		35
	2,56	4,5	2			3,02
III	176	64	26	10	7	276
	2,75	2,46	2,6	1,42		2,31

Tabla 4.2. Relación de Bifurcación para las cuencas de estudio.

En las tres cuencas analizadas los valores de relación de bifurcación son bajos. La cuenca I que corresponde al colector que corre paralelo a la vía férrea tiene un valor cercano a 2 al igual que la cuenca III. La cuenca II es la que alcanza a un valor medio de 3 y es la que corresponde al casco de la ciudad de Ingeniero White. Estos datos brindan un análisis coincidente con lo elaborado para cuencas naturales: configuran áreas de escasa pendiente, proclives a presentar eventos de inundación.

4.3. Relación de longitud

La *relación de longitud* (RI) la define Horton (1945) como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior.

$$RI = L_o / (L_{oi})$$

RI = Relación de longitud

L_o = Longitud media de los segmentos de un orden

L_{oi} = Longitud media de los segmentos orden inferior

Según Senciales González (1999) altas RI revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones muestran mayor energía concentrada bruscamente. Si se retoma al análisis de los valores medios de los RI se observa que la mayoría de las cuencas ($RI < 3$) poseen características torrenciales. En la tabla 4.3 se muestran los valores que alcanza cada razón calculada.

CUENCA	Longitud media de los cursos por orden (km)					
	Relación de Longitud					
	Orden					Media
	1	2	3	4	5	
I	0,15	0,17	0,22			
		1,13	1,29			1,21
II	0,13	0,13	0,22	0,51		
		1	1,69	2,32		1,67
III	0,14	0,16	0,25	0,49	0,37	
		1,14	1,56	1,96	0,76	1,36

Tabla 4.3. Longitud media de los cursos por orden y relación de longitud.

En las tres cuencas, los valores revelan relaciones de longitud bajas. Esto indica una mayor concentración de energía en eventos de grandes avenidas.

4.4. Relación de elongación

El cálculo de la razón o relación de elongación (Re) o factor de forma es de gran interés ya que se relaciona con la forma de la cuenca. Se determina como la razón entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal que la drena (Sala y Gay, 1981). Fue elaborado por Schumm (1956) y es la fórmula más extendida para calcular la elongación debido a que es la que mejor correlación guarda con la hidrología de la cuenca.

Cuando más alejado de 1 sea el valor de Re , mayor será la elongación. Los índices bajos suelen darse en áreas de baja pendiente (Senciales González, 1999). En el área de estudio los valores obtenidos son los siguientes: 0,37 para la cuenca I, 0,82 para la cuenca II y 0,37 para la cuenca III. Las cuencas con mayor elongación presentan un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas (Sala y Gay, 1981). Las cuencas más circulares son las que se acercan al valor uno, en este caso es la cuenca que ocupa toda la parte del casco de la ciudad de Ingeniero White (cuenca II). En coincidencia con el resultado, esta cuenca configura una forma muy semejante a un círculo. Los otros dos valores, alejados del valor uno, muestran cuencas elongadas, con mayor retardo en las avenidas de la escorrentía.

4.5. El área de la cuenca

La superficie es el parámetro más importante de la cuenca, siendo el que regula la intensidad de varios fenómenos hidrológicos tales como el caudal, el volumen de precipitación, etc (Llamas, 1993). El cálculo del área de la cuenca permite cuantificar su tamaño y utilizarlo en la elaboración de varios índices (Gil, 2009). Chow *et al.* (1999) definen como cuencas pequeñas aquellas con áreas menores a 250 km², cuencas medias entre 250 y 2.500 km² y cuencas grandes las que poseen áreas mayores a los 2.500 km². Es necesario conocer la superficie que drena toda la cuenca urbana ya que en función de ella será el aporte del agua que recibirán los colectores.

La influencia de la morfometría de una cuenca en la generación de una inundación en cuencas pequeñas es uno de los factores mencionados por López Ramos (2000). Costa (1987) estudió diversos parámetros morfométricos en cuencas con superficies entre los 0,39 y 370 km². Martínez Fernández (1986) lo hizo comparando los resultados obtenidos en cuencas de reducida superficie. El área total de la cuenca de estudio, como ya se dijo en el capítulo 3, es de 5,93 km². Se observa en la tabla 4.4 el área de cada una de las 3 cuencas ya delimitadas en la figura 4.1. El orden de los cursos fluviales permitió darle un número de orden también a cada una de ellas.

Cuencas	Área (km ²)	Orden
I	0,49	3
II	0,62	4
III	4,82	5
Total	5,93	

Tabla 4.4. Valor del área ocupada por las cuencas de estudio.

La cuenca III fue a su vez dividida en 26 subcuencas de menor área para permitir el cálculo del método racional en el capítulo 8 (Fig. 4.2). Esta tarea se realizó a partir de la información suministrada por la Dirección de Vialidad Municipal y del posterior control realizado en gabinete y a campo.

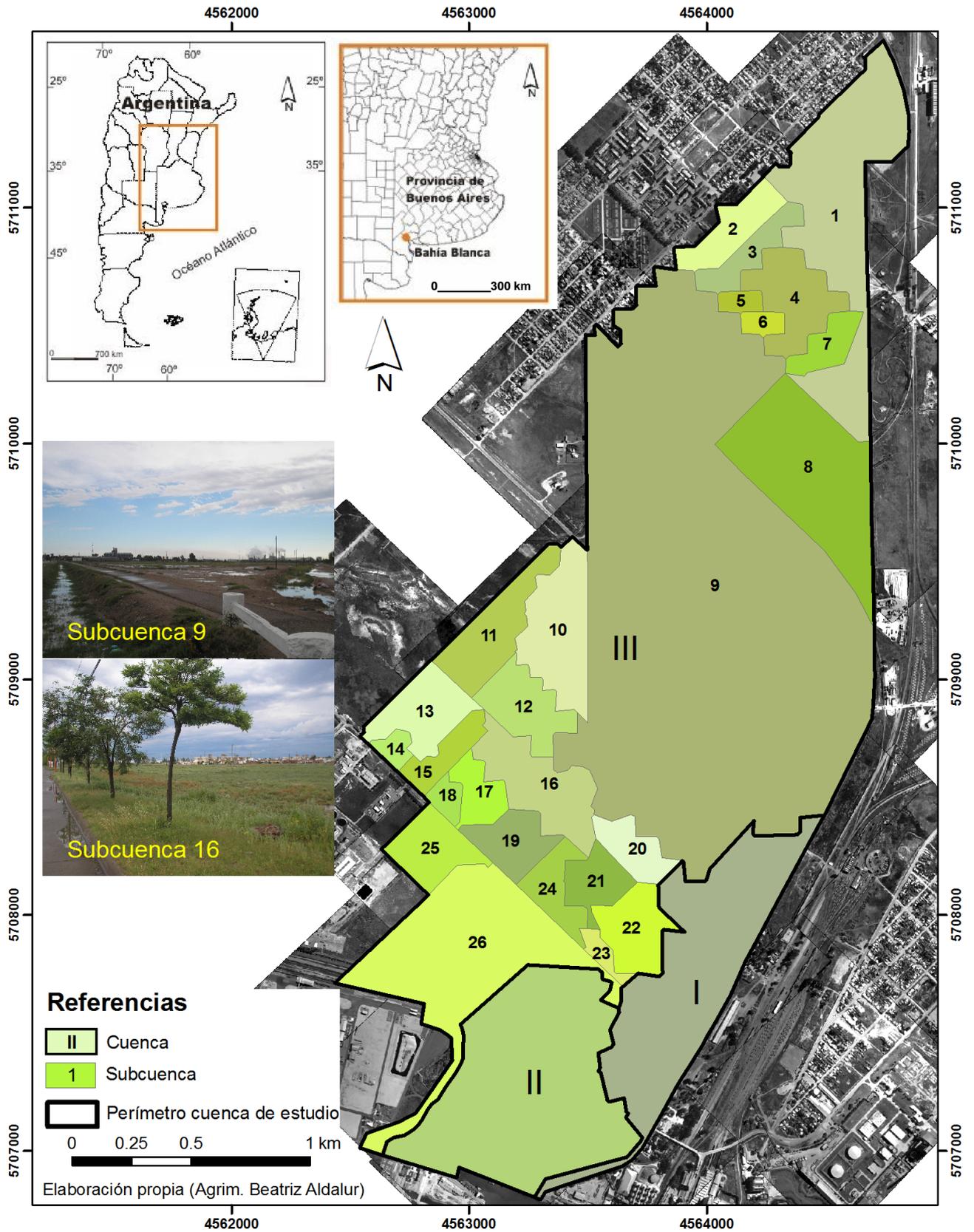


Figura 4.2. Representación cartográfica de las diferentes subcuencas.

En esta nueva división, se jerarquizaron las diferentes superficies según la red de drenajes delimitada en el punto 4.1. La cartografía muestra el lugar por donde drena el mayor caudal a través de los tonos más oscuros que marcan la existencia de drenajes de orden 4 y 5. Esta área es la que recibe las aguas de la parte más alta de la cuenca (Fig. 4.3).

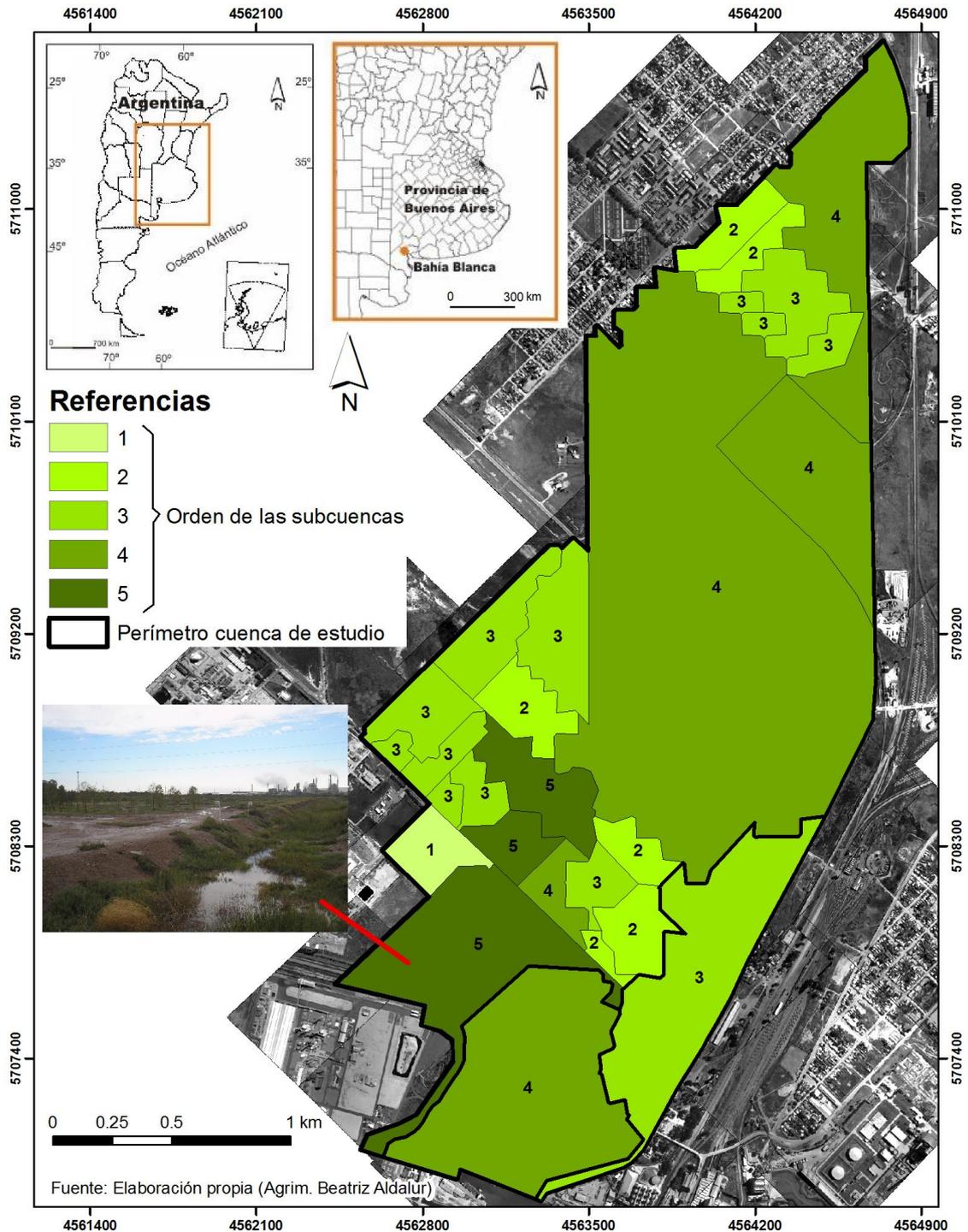


Figura 4.3. Representación cartográfica de las subcuencas sobre la base del número de orden.

El crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en cuencas grandes. De todas maneras el aporte de caudal al curso principal generalmente es mayor al aumentar la superficie drenada ya que puede colectar mayor cantidad de agua precipitada (Gil, 2009).

4.6. Pendiente media

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce (Maderey Rascón, 1973). Llamas (1993) la define como el cociente entre la diferencia de elevación máxima “H” medida entre el punto más alto del límite de la cuenca y la desembocadura de la misma y la mitad del perímetro de la cuenca. Es imprescindible su cálculo, ya que incide directamente en la velocidad de un caudal a lo largo del cauce, condiciona su energía cinética y de esta manera su potencia erosiva (Senciales González, 1999).

La pendiente media calculada para toda el área de estudio es:

$$\text{Pendiente media} = 11,50 \text{ m} / 6.917 \text{ m} = 0,00166$$

El valor de las pendientes para las cuencas en que fue caracterizada el área se determinó en función del cociente entre: a) la diferencia de altura entre dos puntos (el punto más alejado de la cuenca y de mayor cota y el punto donde drena la cuenca) y b) la distancia existente entre ambos (Chow *et al.*, 1999). La pendiente así determinada será utilizada en posteriores cálculos. En el punto 2.6 se explicó las distintas maneras de expresar la pendiente.

El resultado para las 3 cuencas es 0,0003 para la cuenca I, 0,0011 para la cuenca II y 0,002 para la cuenca III. En coincidencia con lo expresado en el capítulo 3, el área configura una zona llana, muy baja, con escasos desniveles.

4.6. Cálculo de pendientes y áreas incorporando la división en subcuencas

La pendiente de cada una de las pequeñas subcuencas en que se dividió la cuenca III se calculó, como ya se explicó en el punto anterior, mediante el cociente entre la diferencia de nivel existente en la parte más alta y el lugar donde drena toda la escorrentía y

la distancia real entre estos dos puntos. La división de la cuenca III en 26 subcuencas permitió que los datos fueran incorporados al programa HidroEsta, cuya utilización se encuentra detallada en el capítulo 8 (Chow *et al.*, 1999; Villón Béjar, 2008).

En la tabla 4.5 se presentan los valores de pendiente y número de orden para las subcuencas del área de estudio, incorporando las ya calculadas de las cuencas I y II.

Cuenca	Sub-cuenca	Area (km ²)	Pendiente	Orden
I	I	0,50	0,0003	3
II	II	0,62	0,0011	4
III	1	0,40	0,0035	4
III	2	0,07	0,0012	2
III	3	0,06	0,0017	2
III	4	0,11	0,0025	3
III	5	0,02	0,0021	3
III	6	0,02	0,0024	3
III	7	0,05	0,0016	3
III	8	0,32	0,0032	4
III	9	2,18	0,0026	4
III	10	0,15	0,0019	3
III	11	0,12	0,0015	3
III	12	0,09	0,0019	2
III	13	0,10	0,0005	3
III	14	0,02	0,0020	3
III	15	0,05	0,0010	3
III	16	0,14	0,0012	5
III	17	0,05	0,0009	3
III	18	0,02	0,0030	3
III	19	0,07	0,0038	5
III	20	0,06	0,0007	2
III	21	0,06	0,0008	3
III	22	0,09	0,0003	2
III	23	0,02	0,0016	2
III	24	0,06	0,0007	4
III	25	0,08	0,0032	1
III	26	0,42	0,0007	5
Total		5,93		

Tabla 4.5. Datos de orden de jerarquización, pendiente y superficie de todas las subcuencas.

A modo de síntesis, luego del análisis morfométrico realizado, se puede apreciar que las tres cuencas configuran áreas de escasa pendiente, proclives a presentar eventos de inundación, con mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. Este análisis se confirma a partir de los valores de pendientes calculadas para cada una de ellas y de los bajos valores de relación de bifurcación.

Los valores de relación de longitud obtenidos indican mayor concentración de energía en eventos de grandes avenidas para las tres cuencas analizadas. La cuenca que ocupa toda la parte del casco de la ciudad de Ingeniero White, dada su forma circular, es la que presenta mayor velocidad en las avenidas de la escorrentía. Las otras dos cuencas presentan formas más elongadas, con mayor retardo en las avenidas de la escorrentía. Este análisis surge a partir de los valores de relación de elongación obtenidos.

El mayor caudal de toda el área de estudio sale al estuario por el canal Profertil que corresponde a la cuenca III y que posee el mayor orden y la mayor superficie. Las otras dos cuencas de menor superficie están sujetas a crecientes instantáneas y de respuesta inmediata. Los datos de áreas y pendientes calculados permiten tener la información base que será utilizada en el capítulo 8.

5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima puede ser estudiado sobre la superficie terrestre bajo distintas escalas, según sea el objetivo de la investigación. Se utilizará una escala zonal si el interés del estudio radica en obtener una visión general climática de la superficie terrestre. Si la investigación está centrada en diferenciaciones dentro de este amplio espacio zonal, se recurrirá a una escala regional, determinada por factores geográficos. Si la escala es local, predominan las condiciones de sitio. Dentro de este ámbito local, pueden identificarse a su vez, microclimas con características propias que representan una modificación local del clima (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a).

5.1. El clima zonal

El movimiento de las distintas masas de aire sobre las grandes unidades morfológicas en la Argentina origina los diferentes dominios climáticos. El distanciamiento, altura y posición de estas masas de aire determinan matices regionales y locales, que se evidencian en la cubierta vegetal y la red hidrográfica. Nuestro país se inscribe, predominantemente, dentro de los climas de la zona templada (Atlas Total de la República Argentina, 1981).

Las masas de aire provenientes del Atlántico Sur actúan sobre el noreste y centro del país, intensificando las precipitaciones estivales. En tanto que la influencia de las del Pacífico Sur influyen sobre el sector cordillerano (Atlas Total de la República Argentina, 1981). Una extensa “diagonal árida” atraviesa en forma sesgada el continente, desde el norte del Perú hasta la costa patagónica sobre el Océano Atlántico, abarcando los dos tercios del país (Bruniard, 1982). Es una franja de escasas lluvias, verdadera divisoria climática pues señala el límite e influencia de los vientos húmedos del Atlántico y de las áreas sometidas al régimen de los vientos del Oeste (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994; Campo de Ferreras *et al.*, 2004a; Campo *et al.*, 2009). La distribución y el régimen de las precipitaciones se encuentran limitados por la disposición del relieve que modifica la circulación atmosférica y gradúa la humedad. Surge así una Argentina árida y otra húmeda, ubicada entre las masas de aire del Pacífico y del Atlántico y separada por una línea que constituye el límite climático más importante de Sudamérica austral (Atlas Total de la República Argentina, 1981).

Estos dominios climáticos se asocian además a diferentes tipos de climas, que responden a elementos y factores geográficos de menor magnitud espacial. Las diferencias de temperaturas, precipitaciones y relieve se combinan ofreciendo diversidad de matices. La amplitud latitudinal de la Argentina ofrece variabilidad climática desde el Norte hasta el Sur que abarca desde los más cálidos hasta los templados, fríos y niveos. La orientación meridiana y altitud de los cordones montañosos permiten diferenciarla climáticamente desde el Este hacia el Oeste, incidiendo sobre la temperatura y la circulación de las masas de aire. Se generan así climas de distinto dominio:

Dominio atlántico: Su comportamiento obedece a la convergencia periódica de distintas masas de aire. Una tropical cálida y húmeda, proveniente del anticiclón permanente del Atlántico Sur que por su condición de aire marítimo es causante del incremento en las precipitaciones y otras masas de aire frío que son de origen continental, marítimo y polar.

Dominio pacífico: Las masas de aire oceánico procedentes del Suroeste se desecan y continentalizan al traspasar la cordillera y avanzan hacia el Noreste sobre regiones cada vez más cálidas. Aumentan su temperatura, lo cual disminuye la humedad relativa ambiental.

Dominio polar: Sus características se vinculan con la posición insular o continental, la latitud y la circulación atmosférica (Atlas Total de la República Argentina, 1981).

Faja árida: Se la denomina así a la franja que atraviesa sesgadamente América del Sur, desde el norte del Perú hasta las costas patagónicas. Esta franja desarrolla una serie de enclaves áridos sucesivos que interrumpen la continuidad de las zonas húmedas, según una combinación de factores que actúan sobre las distintas áreas. En el sur del continente, la aridez patagónica se proyecta hasta las mismas costas atlánticas. Plantea una condición climática limitante en cuanto a barrera interpuesta entre las zonas húmedas colindantes (Bruniard, 1982).

El área de estudio se encuentra emplazada dentro de la banda templada en el límite entre el clima de dominio Atlántico, denominado *subhúmedo de llanura* y el clima de la faja árida *semiárido de las planicies*. Cabe destacar estados de tiempo típicos del sur de la provincia de Buenos Aires que se suceden en la zona de estudio cuando la temperatura y humedad muestran condiciones específicas y los vientos presentan direcciones predominantes de un sector en particular. Ellas pueden ocurrir en distintas épocas del año y son: la Sudestada y el viento Pampero.

5.1.1. Estados de tiempo típicos: Sudestada y viento Pampero

La Sudestada: Es un fenómeno meteorológico común a una extensa región del suroeste bonaerense. Se caracteriza por vientos fríos o frescos e intensos del cuadrante Sureste con velocidades superiores a los 35 km/h, precipitaciones de diversa intensidad, temperaturas bajas en días sucesivos y humedad proveniente del océano (Gentile y González, 2001; Campo de Ferreras *et al.*, 2004a).

Este estado del tiempo se genera por el efecto combinado de dos sistemas. Uno corresponde a: “*un desprendimiento del Anticiclón del Pacífico Sur favorecido por las altas presiones continentales cuya trayectoria es Oeste – Este y se localiza en el Océano Atlántico frente a las costas bonaerenses permitiendo el ingreso aire frío y de origen marítimo al continente*” (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a: 36). Otro sistema es una baja presión localizada sobre la zona austral de la Mesopotamia argentina y la región occidental del Uruguay, que aporta aire húmedo y cálido proveniente del norte del país. Este encuentro de masas de aire de propiedades físicas diferentes, profundiza la depresión, intensificando la circulación del viento del sector Sureste.

La Sudestada presenta en su primera fase, el avance de una masa de aire cálida desde el Norte y otra de aire frío desde la Patagonia. En la zona del Río de la Plata se produce una disminución de la presión con cielo nublado y temperatura superior a la normal. Desde Córdoba hasta el Sur de Mar del Plata se forma un frente de altura.

En la segunda fase, un frente estacionario se ubica frente a Entre Ríos y sobre el Uruguay. El viento vira al Sureste y se producen abundantes precipitaciones en el litoral. Una masa de aire frío avanza desde la Patagonia. En una tercera fase de la Sudestada, el aire frío invade el territorio de las provincias patagónicas en tanto que en el litoral continúa soplando aire del Sureste (Atlas Total de la República Argentina, 1981). En la figura 5.1 se observan las dos primeras fases de la Sudestada.

Campo de Ferreras *et al.* (2004b) analizaron la ocurrencia de Sudestadas en un lapso de tiempo para los meses de agosto, septiembre y octubre durante los años 1999 y 2000, en una amplia área que involucra la zona de estudio siendo el mes de setiembre el que manifestó mayor frecuencia de Sudestadas en el suroeste bonaerense. Las características de los sucesos analizados variaron según las diferencias espaciales y en

función de las condiciones del lugar. Pizarro *et al.* (2009) comprobaron que las que ocurren en invierno alcanzan en promedio, niveles máximos muy superiores al resto.

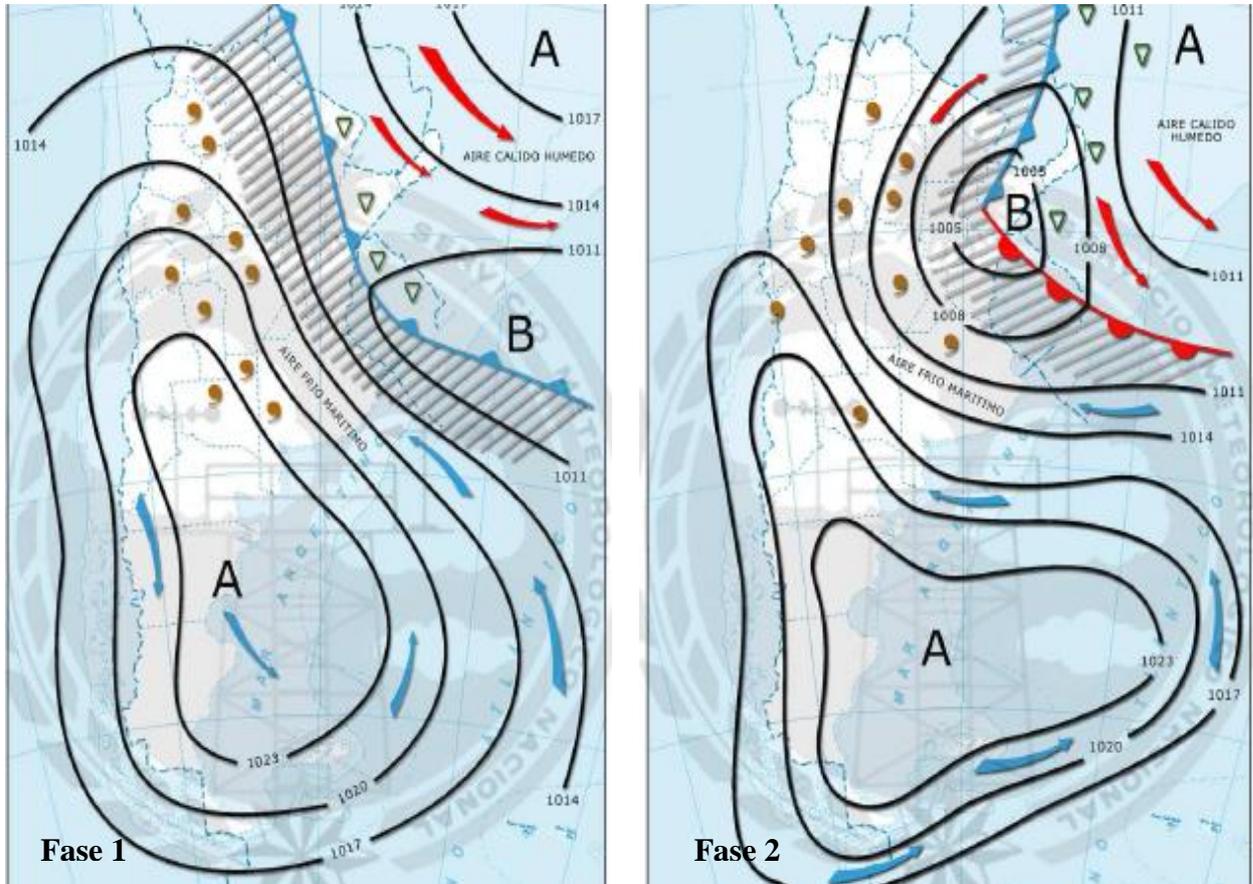


Figura 5.1. Fases de una Sudestada. A: sistema de alta presión. B: sistema de baja presión. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006a.

Celemín (1984) analizó 20 años consecutivos y determinó que el 90 % de los días con Sudestadas ocurren entre abril y diciembre, siendo octubre el de mayor frecuencia. Las más fuertes ocurren entre marzo y octubre, con junio como mes con mayor número de Sudestadas fuertes. Julio fue el mes que llegó a tener mayor número de Sudestadas y febrero es el mes en el cual se observaron menor cantidad de días con Sudestadas. Entre julio y octubre se registran el 48 % de los casos de las Sudestadas anuales, es decir, se produce la mayor concentración de ocurrencias de este fenómeno a lo largo del año. Según la intensidad de los factores climáticos, las clasifica en “leves” cuando presenta vientos de 20 a 40 km/h y cielos parcialmente nublados, “moderada” con cielos nublados, algunas precipitaciones y vientos entre 30 a 60 km/h y Sudestadas “fuertes” con ráfagas superiores a 60 km/h y lluvias en toda la región.

Gentile y González (2001) estudiaron sucesos de Sudestadas en la ciudad de Buenos Aires y determinaron que los vientos provenientes del cuadrante Sureste producen

un apilamiento de las aguas en la margen argentina del estuario del Río de La Plata, provocando un “tapón hidráulico” e impidiendo el normal drenaje de los cursos de agua afluentes que desembocan en el estuario. La Sudestada puede producir crecidas en función de su duración e intensidad, de las lluvias que caigan en la zona y de los aportes de los ríos afluentes.

Los efectos más importantes de este estado del tiempo, se manifiestan en las zonas costeras. Se producen oleajes de mayor magnitud que lo habitual que ponen en peligro las embarcaciones y que llevan a un aumento del nivel del mar. Es común este suceso en toda la costa bonaerense de la Argentina y llega a provocar en algunos casos, inundaciones en áreas costeras pobladas, pudiendo destruir escolleras y edificaciones levantadas sobre la playa. La Sudestada puede durar una semana, provocando tiempo frío y lluvioso.

Como se mencionó en el capítulo 1, muchos de los eventos de inundación en Ingeniero White tuvieron su causa en episodios de Sudestadas. Puntualmente uno de estos sucesos, fue explicado por el diario local como viento que se origina en un sistema de baja presión que cubría en ese momento el sistema serrano de Ventania y se dirigía en dirección este hacia el Océano Atlántico (La Nueva Provincia, 15 de junio de 1997).

El viento Pampero: Se lo denominó así al viento proveniente del interior de la región pampeana, del sector Sur o Suroeste. Es un estado de tiempo que se desarrolla en el transcurso de una semana y que se manifiesta como un viento fuerte frío, fresco o templado, según la estación del año, pero siempre seco. Su velocidad es superior a los 40 km/h. Siempre está asociado a un pasaje de frente frío (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a).

Su desarrollo completo presenta tres fases claramente identificables por su situación sinóptica que se pueden observar en la figura 5.2. La primera fase suele corresponder al Pampero húmedo por las precipitaciones que se producen acompañando al avance del frente. Si así no sucede se lo denomina Pampero seco, por las tormentas de polvo, de donde también surge el nombre de Pampero sucio, si estas tormentas se manifiestan en una región árida (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a). *“El inicio del Pampero se caracteriza por la existencia de una corriente de aire cálida y húmeda sobre la llanura pampeana y la presencia de un frente frío ubicado al Norte de la Patagonia procedente del Océano Pacífico Sur. El aire frío pierde la mayor parte de humedad al cruzar la cordillera. En su segunda fase, el frente frío se ha desplazado hacia el Río de la Plata y se producen precipitaciones con vientos del sector sur en la ciudad de Buenos Aires. La finalización del Pampero que corresponde a su fase tres, se identifica con el aumento de la presión atmosférica y el descenso de la humedad relativa en el Sur de la provincia de Buenos Aires. El cielo se*

presenta despejado, el aire calmo y la temperatura desciende” (Campo de Ferreras *et al.*, 2004b: 35 y 36).

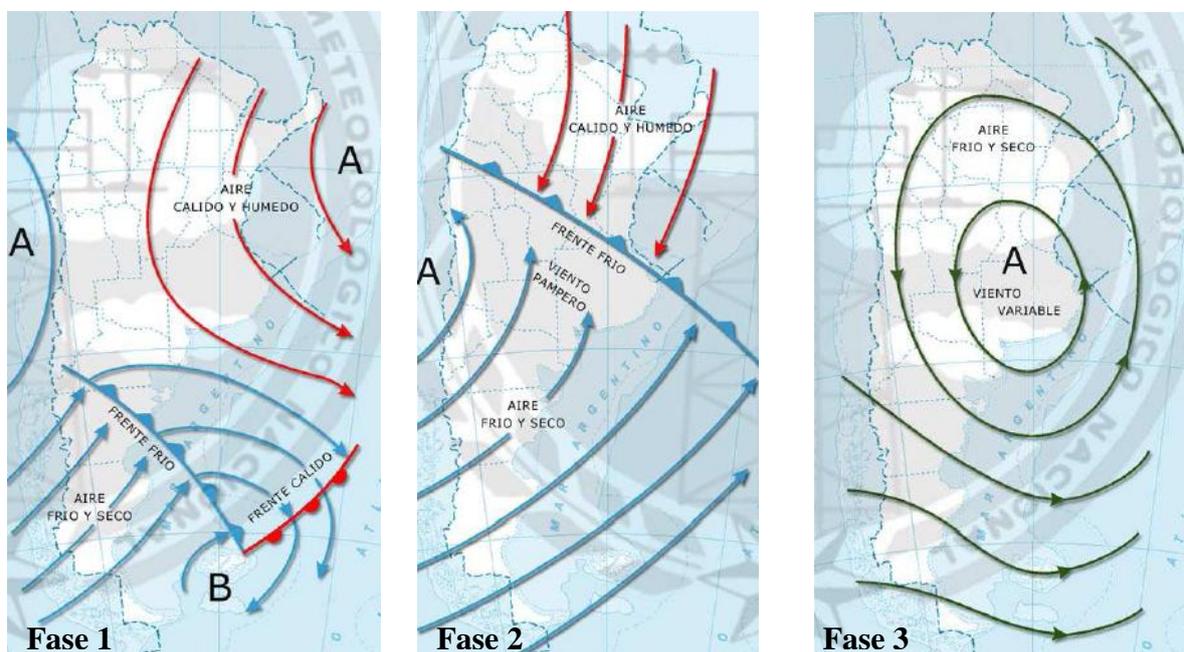


Figura 5.2. Fases del Pampero. A: sistema de alta presión. B: sistema de baja presión. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2006b.

La fase 1 es la más desfavorable, el viento puede producir destrozos por las fuertes ráfagas que lo caracterizan y suelen ocurrir tormentas severas o inundaciones de corta duración. La fase 3 es la más favorable y la fase 2 es la fase de transición entre ambas (SMN, 2006b).

5.2. El clima regional

Si bien la región posee condiciones naturales homogéneas con ausencia de fuertes contrastes en su topografía, existen en ella importantes diferencias climáticas (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994). Esas diferencias se manifiestan en dos regiones que abarcan el suroeste de la provincia de Buenos Aires: hacia el Este se extiende la pampa húmeda, región de lluvias abundantes y cultivos de secano y hacia el Oeste se observan rasgos de aridez, con el inicio del ambiente patagónico (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1997).

Gil *et al.* (2008) describen la región según sus características geomorfológicas como perteneciente a la llanura pampeana, con una suave inclinación Norte – Sur desde Sierra de

la Ventana hasta el nivel del mar. El cordón serrano tiene su mayor altura en el Cerro Tres Picos de 1.234 m sobre el nivel del mar y su sistema da origen a varios cursos fluviales que desembocan en la costa atlántica como el río Sauce Grande y arroyos Sauce Chico y Napostá Grande, mencionados en el capítulo 3. El arroyo Napostá Grande atraviesa el casco urbano de Bahía Blanca.

Existen variaciones espaciales en las temperaturas y en las precipitaciones en esta zona que se hallan relacionadas con la continentalidad, exposición a los flujos de aire dominantes, orientación de la costa y corrientes oceánicas (Campo *et al.*, 2009). Las precipitaciones medias de la región disminuyen de Este a Oeste con valores de 841,7 mm en Tres Arroyos y 380 mm en Viedma (Zapperi *et al.*, 2007).

Zapperi *et al.* (2006) identifican seis situaciones meteorológicas que originan lluvias para la región:

a) Frente frío: detrás del frente frío dentro del aire fresco y con vientos del Sur, Suroeste y Sureste se producen las lluvias de una duración aproximada de 12 horas. Estos frentes siguen una trayectoria en sentido Suroeste – Noreste y en su recorrido desplazan al aire más caliente y húmedo.

b) Frente cálido: Producen tormentas eléctricas, lloviznas y nieblas de una duración de 3 a 63 horas, en cualquier momento del año pero con menor frecuencia en verano.

c) Lluvias de línea de inestabilidad: Son sistemas de mal tiempo que suelen formarse delante de un frente frío y se mueven rápidamente (20 a 60 km/h) de Suroeste a Noreste. Ocurren especialmente entre los meses de octubre a marzo con una duración de las precipitaciones de media hora a 6 horas. Producen tormentas eléctricas, fuertes chaparrones, vientos del Sur o Suroeste y ocasionalmente chaparrones de granizo.

d) Lluvias de onda frontal: Esta situación se genera por el estrangulamiento producido dentro del frente estacionario por el empuje del aire frío hacia el Norte y del aire cálido hacia el Sur. No sólo se produce en frentes fríos, también se da en un tipo de corrientes de perturbación causado por la sucesión de frentes cálidos, las lluvias pueden durar entre 6 y 36 horas.

e) Chaparrones y tormentas dispersas: Se forman en épocas calurosas por efecto de la inestabilidad del aire y del fuerte calentamiento del suelo continental. Las precipitaciones suele durar entre media hora y 3 horas.

f) Lluvias de “baja” o “vaguada” en altura: Se producen cuando se forman en altura (3 a 10 km) centros de baja presión o vaguadas que tienen desplazamiento Oeste – Este. Su duración es de 6 a 36 horas.

“La interacción entre las masas de aire y el desplazamiento de los centros de acción son en gran parte responsables de las características climáticas de esta amplia región de la llanura pampeana” (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a: 7). La masa de aire Antártica (A), fría y seca, llega hacia América del Sur empujada por la circulación de vientos del Oeste en “oleadas” cuyos avances pueden generar frentes fríos. El aire que proviene de la Antártida, con temperaturas frías y rigurosas, tiene mínima trayectoria marítima lo cual contribuye a su condición de aire muy seco (Campo de Ferreras *et al.*; 2004a). Durante el invierno, otoño y primavera las masas de aire Polares continentales (Pc), frías y secas, aumentan su extensión y el aire frío es muy estable debido al enfriamiento de la Patagonia. Las masas Polares marítimas (Pm), frías y húmedas, amplían su dominio en estas estaciones (Zapperi *et al.*, 2006; Gil *et al.*, 2008). Las masas de aire Tropicales marítimas (Tm) se desplazan hacia el Sur coincidente con la estación estival e ingresan hasta el Sur de la provincia de Buenos Aires. Si bien en estas latitudes ya han perdido gran parte de sus propiedades iniciales igualmente son generadoras de lluvias y de las típicas tormentas de verano que se producen en la región (Gil *et al.*, 2008).

En el verano la zona entre los 40° S y 60° S está bajo la influencia de las masas de aire Polar marítimas (Pm), fría y húmeda. Es dominio planetario de los vientos del Oeste (Zapperi *et al.*, 2007). Según Bruniard (1992) esto resulta de la transformación y mezcla de masas Antártica (A) y Tropical marítima (Tm) dentro de las depresiones migratorias que caracterizan la periferia antártica.

5.3. El clima en Bahía Blanca e Ingeniero White

El clima de la ciudad de Bahía Blanca es templado, con valores medios de temperatura comprendidos entre 14 °C y 20 °C y estaciones térmicas bien diferenciadas. Los veranos e inviernos son rigurosos y la primavera y el otoño son estaciones intermedias más benignas (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1997). Durante la estación cálida son frecuentes los registros que llegan a valores extremos y superan los 40 °C. Los inviernos suelen presentar marcadas olas de frío que ocasionan perjuicios a la población y las actividades económicas en general. Las lluvias otorgan un carácter subhúmedo a esta variedad de clima templado, denominado también de transición (Campo *et al.*, 2009).

5.3.1. Variabilidad en el período 1971 – 1980

Este ciclo presentó valores de temperatura media anual del orden de los 14,9 °C. Las precipitaciones totales alcanzaron los 712 mm en el período estudiado y la velocidad media anual del viento fue de 24 km/h. La dirección del viento predominante fue del Noroeste y Oeste (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994). Los meses con mayor velocidad media en los vientos fueron los de diciembre, enero, febrero y marzo que engloban el período de verano.

Los ciclos estacionales marcaron los siguientes valores de temperatura y lluvia: el verano registró un valor de temperatura media de 21,9 °C y 240 mm de lluvias. El invierno tuvo una temperatura media de 8,1 °C y lluvias de 78 mm. El otoño anotó 14,8 °C de temperatura y 205 mm de lluvias y la primavera tuvo 14,7 °C y 189 mm, lo que muestra, como ya se dijo, a veranos e inviernos bien caracterizados y estaciones intermedias casi semejantes en sus valores (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994).

5.3.2. Variabilidad en el período 1981 – 1990

En esta década las temperaturas medias anuales alcanzaron los 15,1 °C y las precipitaciones totales ascendieron a 613,7 mm. Las lluvias se registraron en mayor medida en otoño y en forma decreciente en primavera, verano e invierno. La velocidad media anual del viento fue de 22,5 km/h, siendo el viento predominante el del Norte y Noroeste. Por lo que esta década resultó más seca, más cálida y con velocidades de viento menores que el período 1971 – 1980 (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994).

Los valores estacionales medios de temperatura y precipitación fueron: 22,7 °C y 167,7 mm para el verano y 8,1 °C y 85,6 mm para el invierno. Mientras que el otoño alcanzó valores medios de 14,6 °C y 187,4 mm en forma similar a la primavera que registró valores de 14,8 °C para la temperatura media y 173 mm para las precipitaciones (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994). El viento proveniente del Norte fue el que predominó en las cuatro estaciones. El verano fue el mes que menor cantidad de días de calma presentó.

Se analizó la rosa de los vientos estacionales. El viento predominante en todas las estaciones fue el del Norte. El invierno registró similares días con presencia de viento Norte y viento Noroeste. La velocidad promedio de los vientos fue similar en las cuatro estaciones.

El otoño fue la estación que alcanzó mayor frecuencia de días con calma. El verano y la primavera presentaron los menores valores (Fig. 5.3 y 5.4).

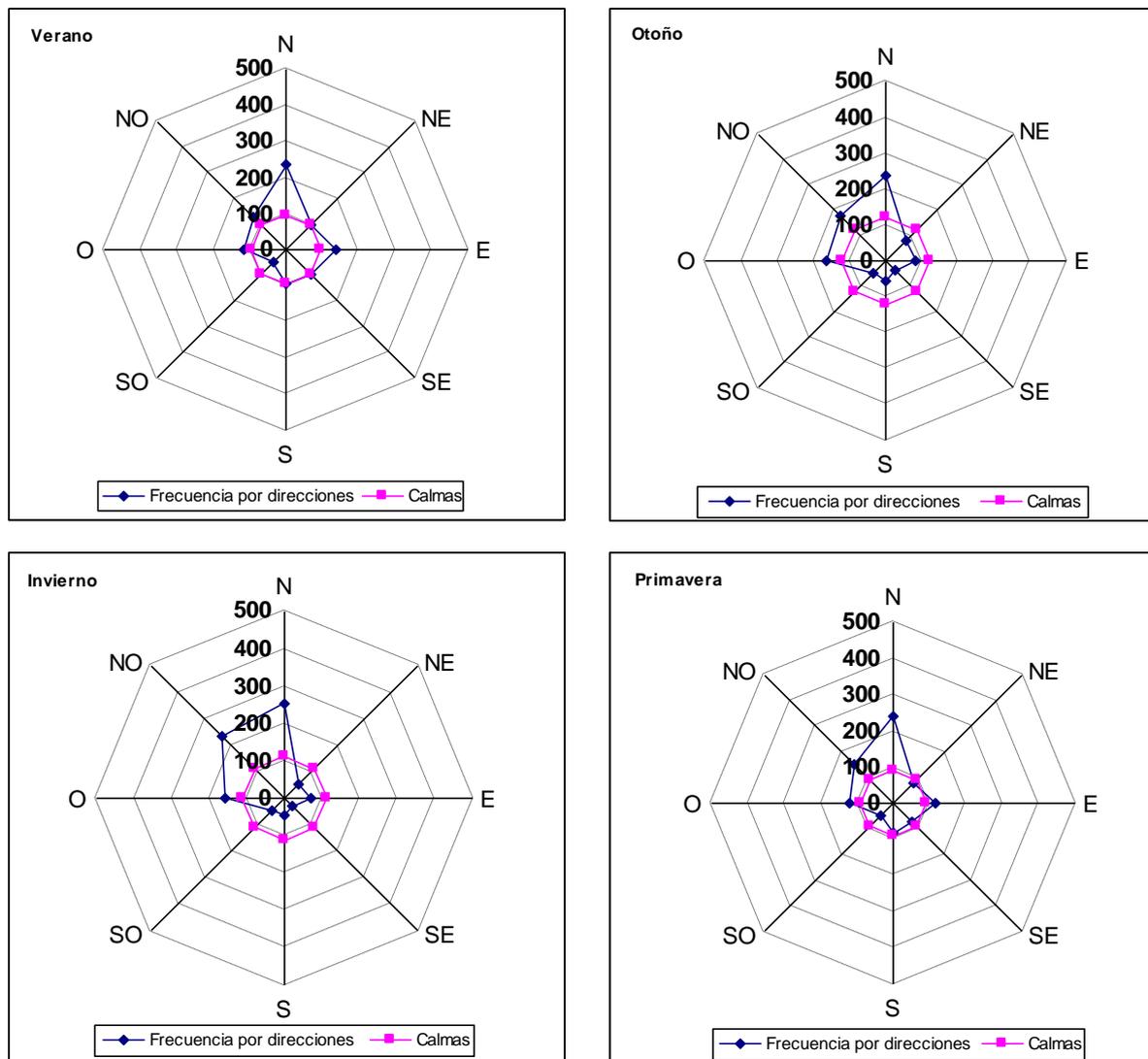


Figura 5.3. Viento estacional de Bahía Blanca período 1981 – 1990.

Frecuencias en escala de 1000.

Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 1992.

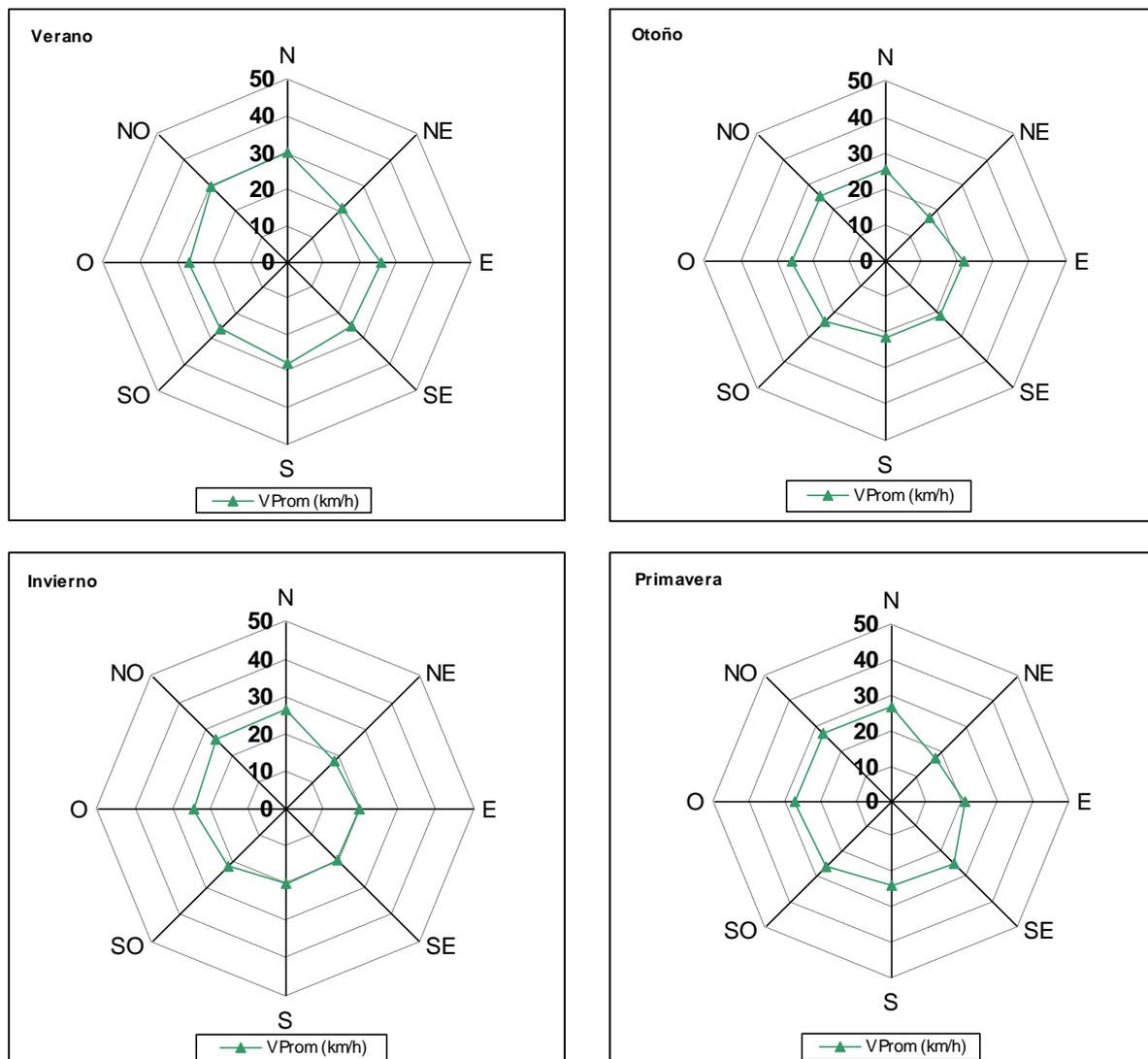


Figura 5.4. Velocidad media del viento período 1981 – 1990.
 Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 1992.

Las velocidades promedio anuales registraron un valor de 26 km/h en el verano y un poco menor la primavera con 24 km/h. Las otras dos estaciones se mantuvieron por debajo de esos valores. La rosa de los vientos anual, muestra la dominancia del viento Norte. Siguiendo en orden la frecuencia de los vientos Noroeste y Oeste, con valores menores le sigue la dirección Noreste (Fig. 5.5).

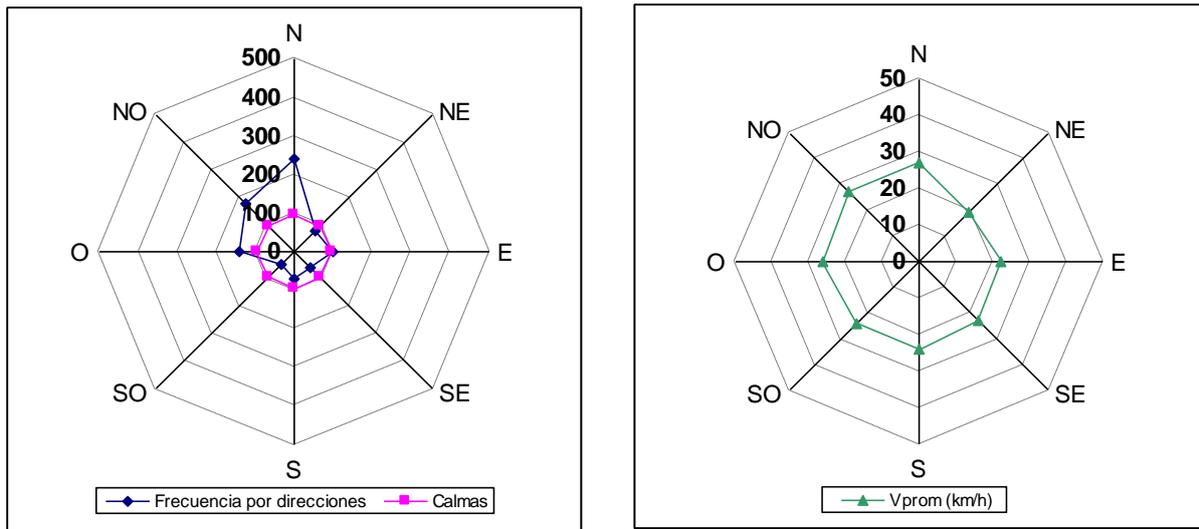


Figura 5.5. Rosa de los vientos anual de Bahía Blanca período 1981 – 1990.
Frecuencias en escala de 1000.
 Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 1992.

5.3.3. Variabilidad en el período 1991 - 2000

En el período 1991 – 2000, la temperatura media anual fue de 15,4 °C. La temperatura media del mes más cálido (enero) fue de 23,3 °C y la del mes más frío (julio) de 7,6 °C. El valor anual de precipitación para este período en Bahía Blanca fue de 684,70 mm. En la tabla 5.1 se muestran los valores estacionales y anuales para la ciudad de Bahía Blanca para el período 1991 – 2000.

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
T (°C)	22,3	15,6	8,6	15,3	15,4
P(mm)	237,60	172,90	115,40	158,80	684,70

Tabla 5.1. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación período 1991 – 2000.
 Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

El análisis climatológico pone de manifiesto que no hubo en este período presencia de meses secos. En estos 10 años las precipitaciones marcaron evidentes períodos húmedos (Fig. 5.6).

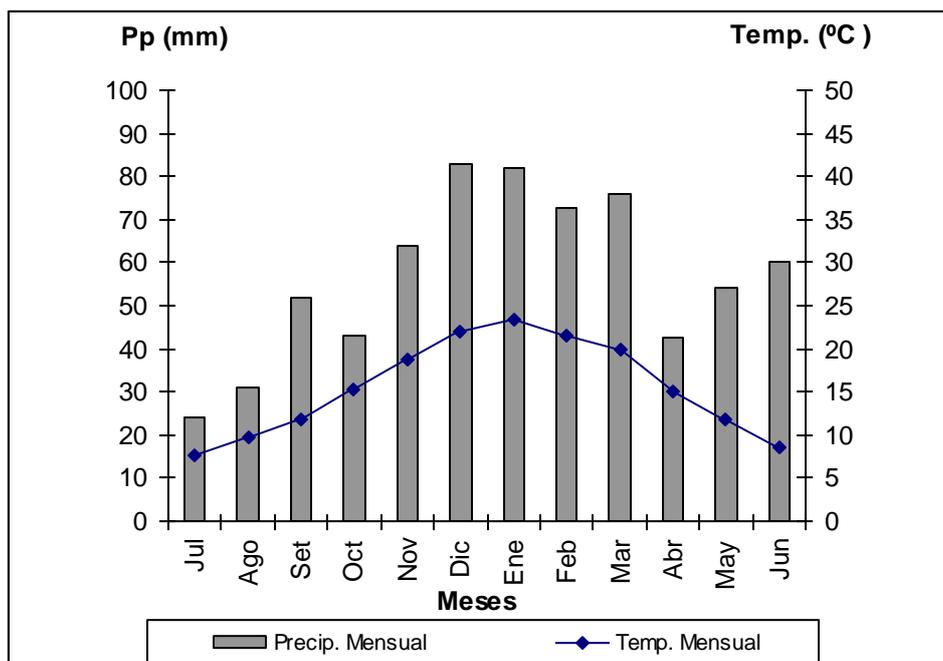
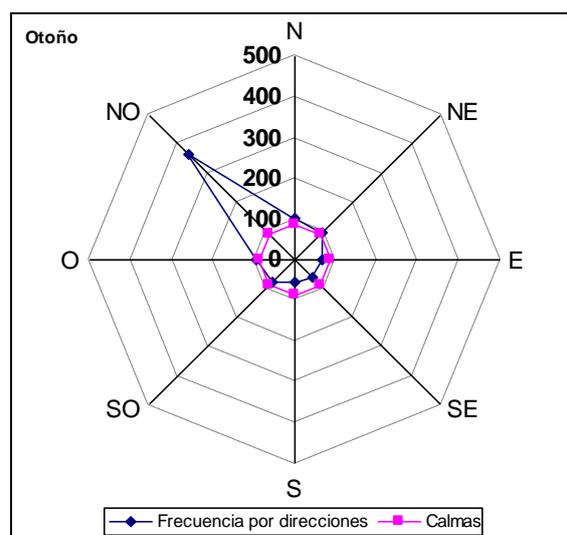
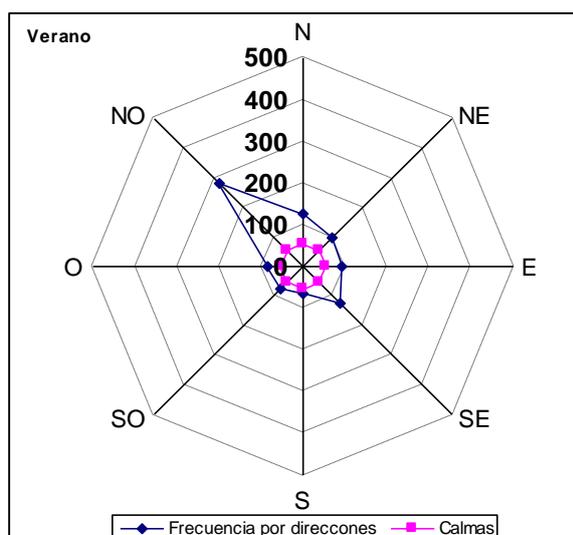
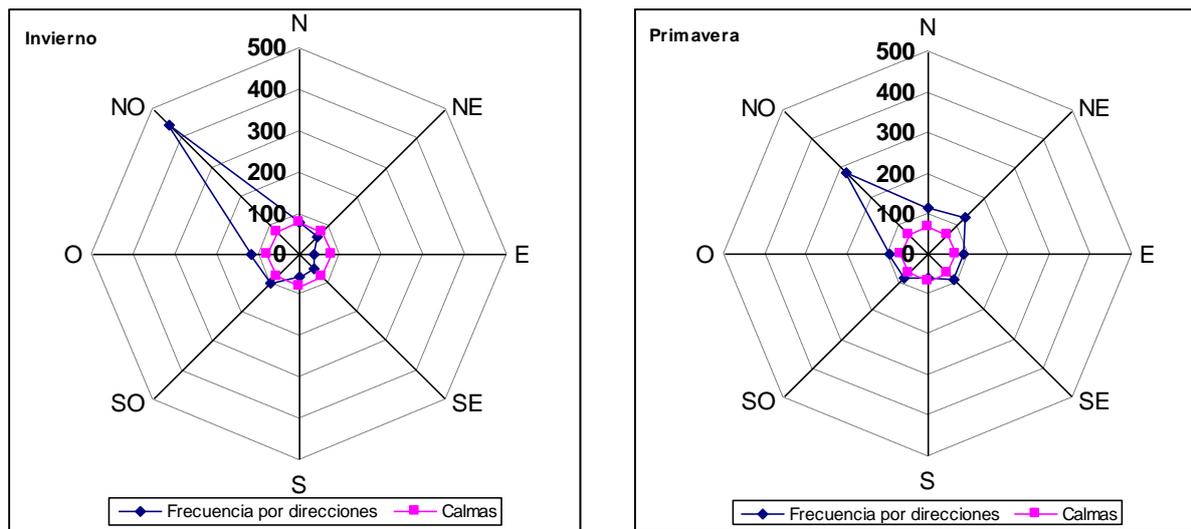


Figura 5.6. Diagrama ombrotérmico de la ciudad de Bahía Blanca para el período 1991 – 2000. Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

Se analizaron la rosa de los vientos estacionales. El viento predominante en todas las estaciones fue el del Noroeste. El invierno fue la estación en donde más frecuentemente se manifestó su presencia y el verano y la primavera fueron las estaciones en que menor número de veces se manifestó. El otoño fue la estación que alcanzó mayor frecuencia de días con calma. El verano registró el menor valor (Fig. 5.7).

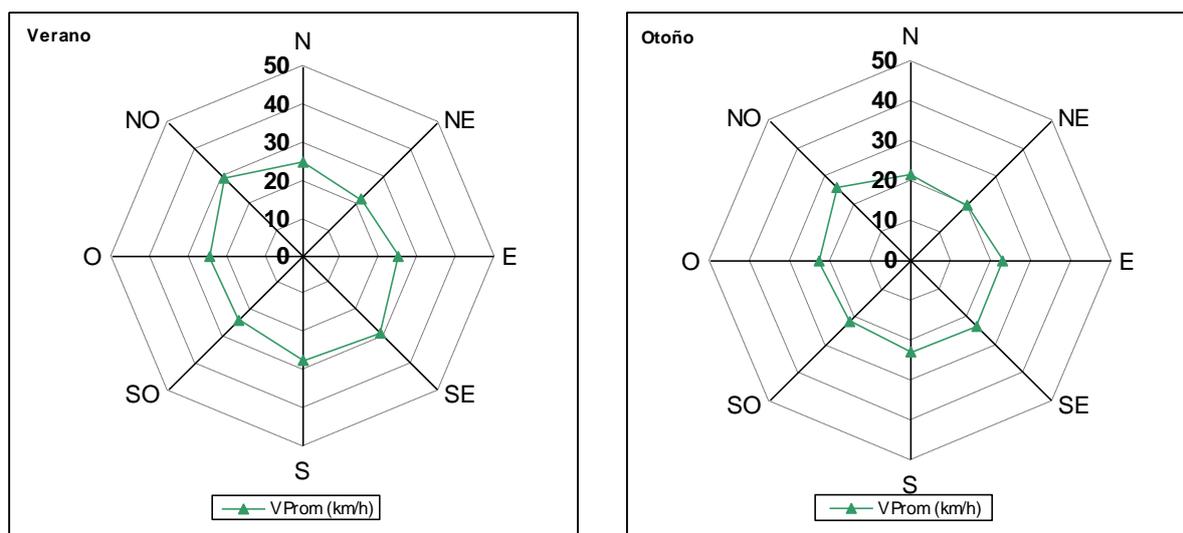




**Figura 5.7. Viento estacional de Bahía Blanca período 1991 – 2000.
Frecuencias en escala de 1000.**

Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002 .

El análisis para las distintas estaciones del año muestra una media de 25,5 km/h para verano y 24,6 km/h para la primavera, resultando menores las medias del otoño (22,5 km/h) e invierno (22,3 km/h). Las velocidades medias de los vientos en las distintas direcciones no superan en ningún caso el valor de los 29 km/h (Fig. 5.8).



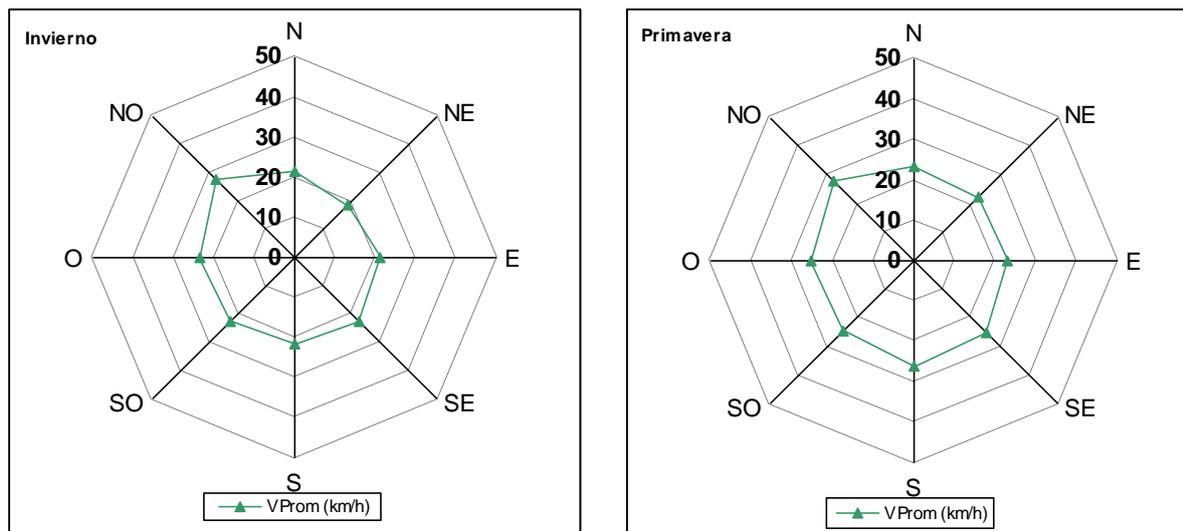


Figura 5.8. Velocidad media del viento período 1991 – 2000.
 Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

La velocidad media anual es de 26 km/h en el verano y 25 km/h en la primavera. Las otras dos estaciones se mantuvieron por debajo de esos valores con 23 km/h. La rosa de los vientos anual, muestra la dominancia del viento proveniente del Noroeste en este período analizado (Fig. 5.9).

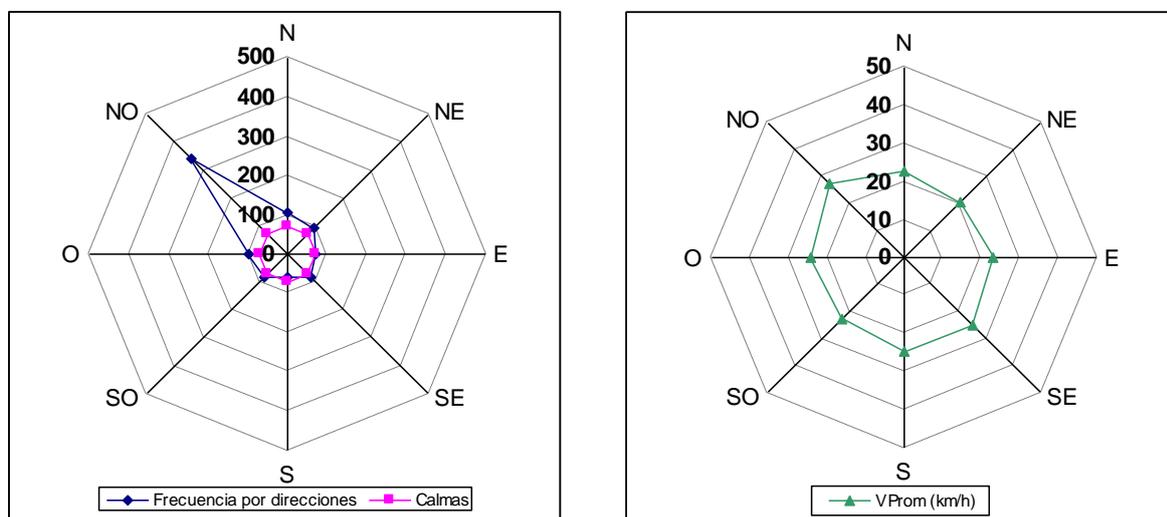


Figura 5.9. Rosa de los vientos anual de Bahía Blanca período 1991 – 2000.
 Frecuencias en escala de 1000.
 Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

El análisis mensual determinó que diciembre fue el mes que más fuertes vientos manifestó y mayo el mes con menor valor medio en la velocidad del viento. El valor medio de velocidad del viento no superó los 25 km/h para todos los meses del año, exceptuando diciembre (Fig. 5.10).

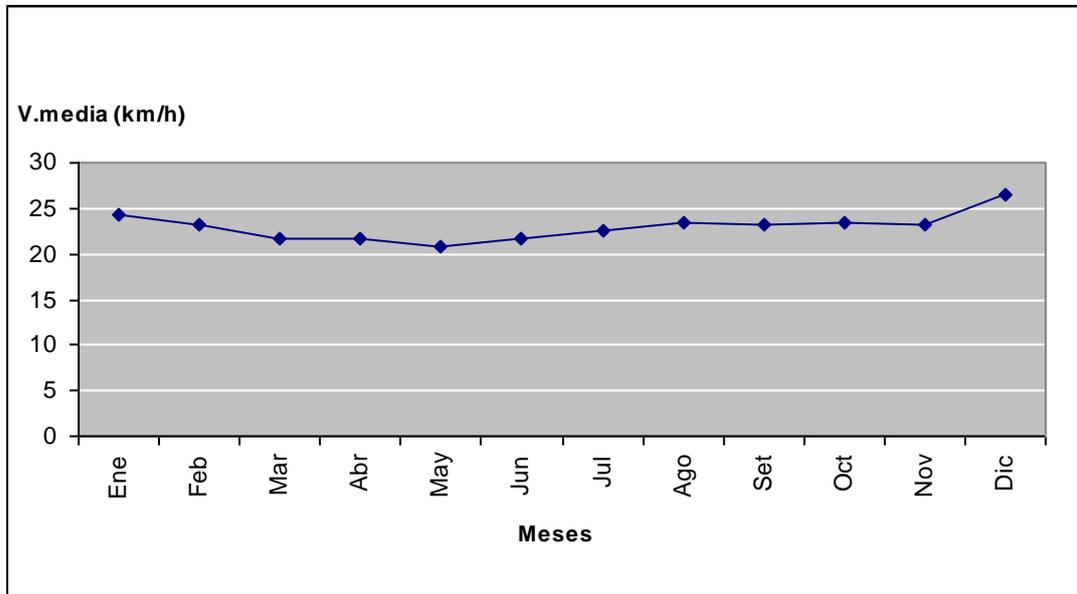


Figura 5.10. Velocidad del viento media mensual.
Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

En cuanto al número de días medios mensuales en que Bahía Blanca registró vientos con velocidad mayor o igual a 43 km/h, se destaca el mes de diciembre con mayor cantidad de días con esa característica (19,9 días), siguiendo enero en segundo lugar (16,6 días). Ambos meses ofrecieron veranos con amplio dominio ventoso (Fig. 5.11). Mayo fue el mes con menor cantidad de días ya que tuvo una media de 11 días, siguiendo junio con 11,5 días.

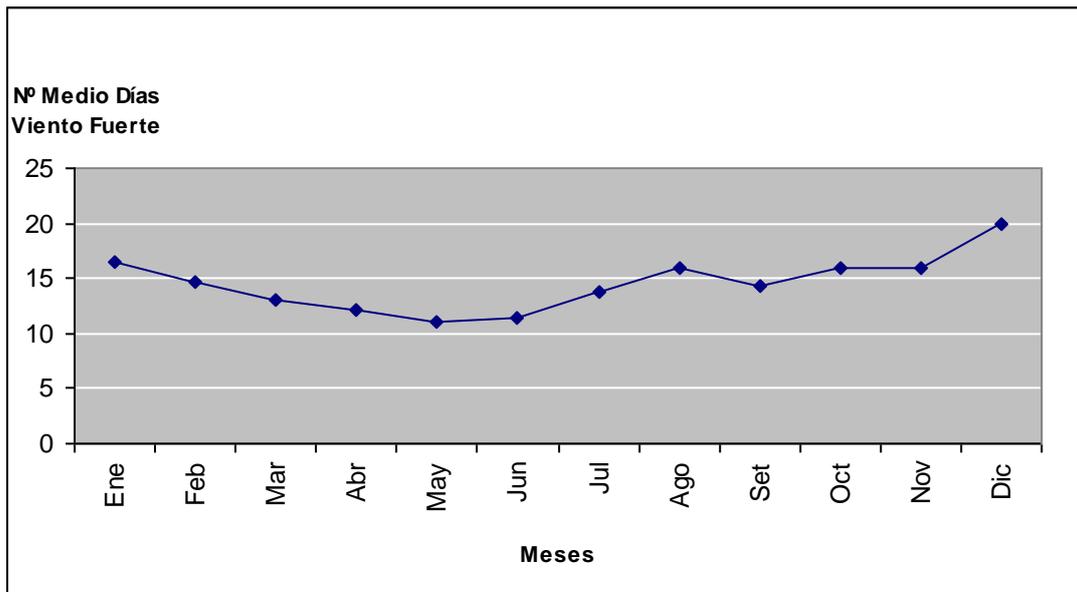


Figura 5.11. Valores medios de días con vientos superiores o iguales a 43 km/h. Elaboración propia sobre la base de información del Servicio Meteorológico Nacional, 2002.

5.3.4. Variabilidad en el período 2001 – 2004

El comportamiento de los veranos de estos 4 años fue analizado por Zapperi *et al.* (2007) a través de las temperaturas y las precipitaciones. Las lluvias de este período se presentaron con un aumento progresivo. El verano que presentó menor milimetraje fue el del año 2002 con 103,7 mm. Con respecto al análisis mensual, los meses de diciembre de 2001 y 2002 tuvieron valores de precipitaciones por debajo de su media histórica de 64,7 mm, mientras que diciembre de 2003 y 2004 presentaron valores superiores a ella. Diciembre de 2001 fue sumamente seco, donde sólo precipitaron 0,4 mm. En relación con el mes de enero, ningún verano presentó valores superiores a la media histórica que es de 60,5 mm. El mes de febrero presentó precipitaciones en aumento en cada verano. En el mes de marzo, al igual que enero, las precipitaciones ocurridas fueron inferiores a los valores medios de 83,2 mm.

Las temperaturas también fueron analizadas para los veranos de esos años: el verano que involucra al mes de diciembre de 2001 y enero y febrero de 2002, presentó una temperatura media de 21,9 °C con una máxima de 35,9 °C y un valor mínimo de 6,6 °C. El siguiente verano, ya en comienzos de diciembre del año 2002, la temperatura media fue de 23,3 °C con una máxima de 38 °C y un valor mínimo de 7,6 °C. El correspondiente a diciembre de 2003 presentó una temperatura media de 22,8 °C con una máxima de 36,3 °C

y un valor mínimo de 8,2 °C. El verano 2004 – 2005 presentó una temperatura media de 22,4 °C con una máxima de 35,3 °C y un valor mínimo de 6,6 °C (Zapperi *et al.*, 2007).

El mismo análisis para el otoño y la primavera fue realizado por Gil *et al.* (2008). Las lluvias se produjeron luego del paso de los frentes fríos. Las precipitaciones de otoño no presentaron torrencialidad significativa, pocos eventos superaron los 10 mm. Por el contrario, las mayores temperaturas de la primavera contribuyeron a la formación de tormentas que se desarrollaron de manera más intensa. En el otoño las precipitaciones presentaron distribución irregular en cuanto a su distribución temporal y montos acumulados y en la primavera no se mostraron variaciones significativas (Gil *et al.*, 2008).

Zapperi *et al.* (2006) analizaron el invierno de estos años. Determinaron que en este período se destacaron las precipitaciones frontales (frente frío y frente cálido), que son las producidas por ondas frontales y las que se deben a bajas presiones resultado de procesos de ciclogénesis. Los frentes cálidos en su avance hacia el Sur produjeron precipitaciones con vientos del Este y del Noreste. Las tormentas eléctricas, lloviznas y nieblas comúnmente se producen al paso de estos frentes.

Mormeneo (2006) utilizó cinco clases descriptivas según los niveles de precipitación mensual, para aplicarlo a este entorno de años. De acuerdo con el rango de valores esperados para niveles de probabilidades prefijados, se caracterizaron las anomalías de las precipitaciones. La tabla 5.2 muestra las clases en que se caracterizó cada mes.

Clase	Rango de niveles de probabilidad de ocurrencia de lluvia, en %
Muy húmedo	>90
Húmedo	75-90
Normal	25-75
Seco	10-25
Muy seco	<10

Tabla 5.2. Clasificación del período mensual en función de la precipitación.
Fuente: Mormeneo, 2006.

El año 2001 tuvo el mes de diciembre *muy seco* y los meses de marzo y julio secos. Febrero, mayo y noviembre fueron meses *húmedos* y abril, agosto, setiembre y octubre fueron *muy húmedos*. En el 2002 marzo fue un mes *seco*, febrero y junio fueron meses *muy secos*. Enero, abril y mayo fueron *húmedos* y agosto, octubre y diciembre *muy húmedos*. El año 2003 presentó sólo un mes *muy húmedo* que fue octubre y dos meses *húmedos*: mayo

y diciembre. Febrero, agosto, setiembre y noviembre fueron *normales*. El resto se mantuvo entre *seco* y *muy seco*. En el año 2004 abril, julio y diciembre fueron *muy húmedos* y febrero y octubre *húmedos*. Este período tuvo varios meses *normales*: enero, marzo, junio, agosto, setiembre y noviembre y el resto en las categorías de *seco* a *muy seco* (Mormeneo, 2006).

A modo de síntesis se ha realizado la gráfica de distribución de niveles de precipitación mensual con escala de colores (Tabla 5.3). La gama de colores utilizada es la que habitualmente se emplea en meteorología (Organización Meteorológica Mundial - OMM, INTA, SMN) en la cual el azul se utiliza para los meses muy húmedos, el celeste para los meses húmedos, el verde para la caracterización de los meses normales y el amarillo y el rojo para los meses secos y muy secos respectivamente.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2001	Verde	Azul	Amarillo	Rojo	Azul	Verde	Amarillo	Rojo	Azul	Azul	Azul	Rojo
2002	Azul	Rojo	Amarillo	Azul	Azul	Rojo	Verde	Azul	Verde	Azul	Azul	Verde
2003	Amarillo	Verde	Rojo	Amarillo	Azul	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Azul	Verde	Azul
2004	Verde	Azul	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Azul	Verde	Verde	Azul	Verde	Azul

Tabla 5.3. Gráfica de distribución de niveles de precipitación mensual.
Elaboración propia.

En la tabla se observa para todos los años una alta concentración de tonos azules y verdes entre los meses de agosto a noviembre indicando altos niveles de precipitación mensual. El resto de los meses no presenta un patrón colorimétrico definido y se manifiesta una distinta distribución de meses húmedos, normales, secos o muy secos. Esta gráfica pone en evidencia la variabilidad de las precipitaciones, una de las características principales de las zonas semiáridas.

5.3.5. Variabilidad en el período 2005 – 2009

En el período 2005 – 2009, la temperatura media anual fue de 15,9 °C. La temperatura media del mes más cálido (enero) fue de 23,4 °C y la del mes más frío (julio) de 8,6 °C. Teniendo en cuenta los valores anuales de precipitación, las precipitaciones para Ingeniero White fueron de 321,97 mm (Tabla 5.4).

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
T (°C)	22,4	15,8	9,1	16,4	15,9
P (mm)	110	51,47	60,50	100	321,97

Tabla 5.4. Valores medios estacionales de temperatura y precipitación período 2005 – 2009. Elaboración propia.

El diagrama ombrotérmico presenta valores escasos de precipitaciones para los meses de agosto y mayo, ambos no llegan a superar los 6 mm (Fig. 5.12). Los meses de abril y julio alcanzaron valores cercanos a los 16 mm correspondiendo estos cuatro meses a los más secos de este período y que afectan a parte del otoño y parte del invierno.

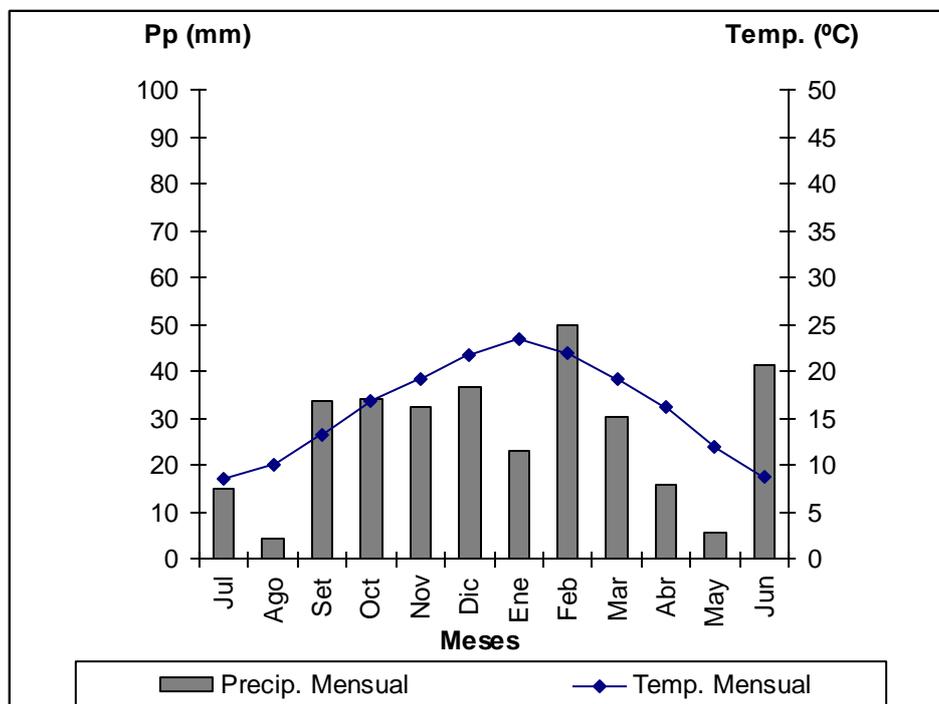


Figura 5.12. Diagrama ombrotérmico de la ciudad de Ingeniero White para el período 2005 – 2009. Elaboración propia.

En este período, los vientos alcanzaron velocidades promedio inferiores a los 14,11 km/h. Este valor corresponde al mes de noviembre, que fue el mes más ventoso. Marzo y junio fueron los meses menos ventosos con promedios escasamente inferiores a los 10 km/h (Fig. 5.13).

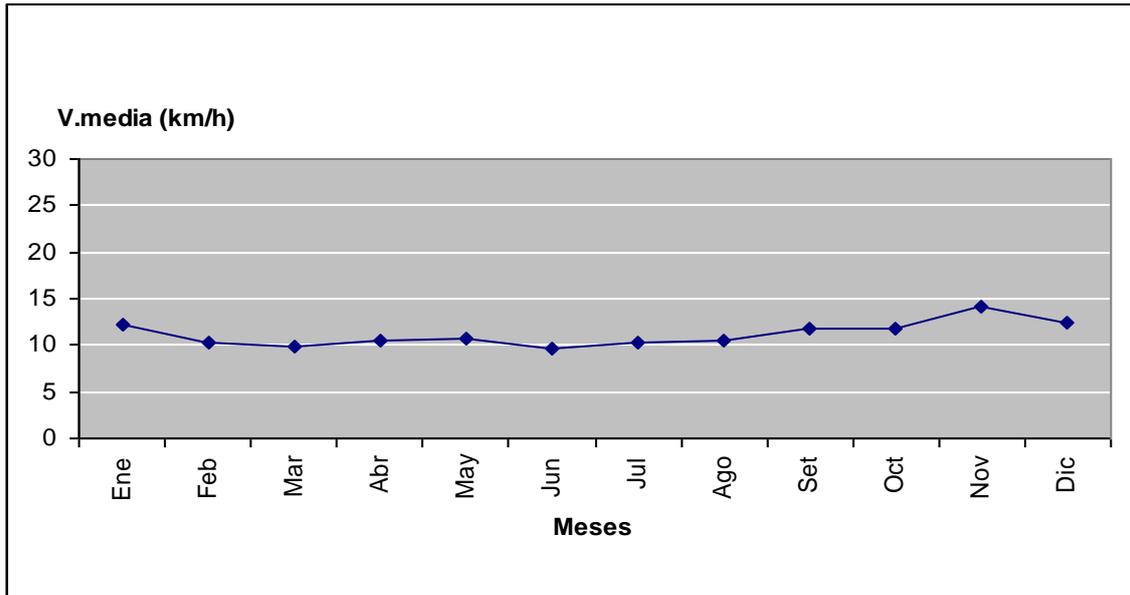


Figura 5.13. Velocidad del viento media mensual. Elaboración propia.

Los valores medios de velocidad del viento registrados se mantuvieron por debajo de la media de décadas anteriores. Se observan en la figura 5.14 los valores de las máximas ráfagas registradas en este período. Las mismas llegaron a 98 km/h en el mes de enero. Diciembre fue otro mes con importantes ráfagas máximas. Todos los meses presentaron ráfagas superiores a los 58 km/h.

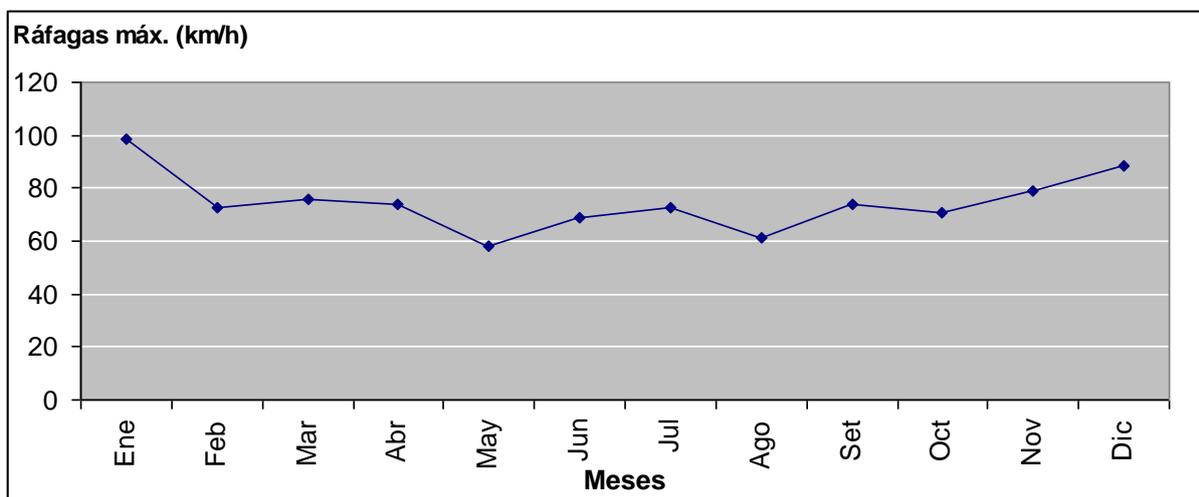


Figura 5.14. Valores de ráfagas máximas. Elaboración propia.

Para estudiar la frecuencia de los vientos por direcciones, se elaboraron las rosas de los vientos para cada una de las estaciones. Como en las décadas anteriores, la dirección

Norte se mantuvo predominante en estos cinco años. En el verano y la primavera, los vientos predominantes del Sureste le siguieron en importancia pero sin alcanzar la frecuencia del viento Norte. En tanto que en el invierno y el otoño, la segunda dirección predominante fue la del Noroeste (Fig. 5.15 y 5.16). Los días de calma fueron escasos durante todos los años y la primavera fue la estación que más días de calma registró.

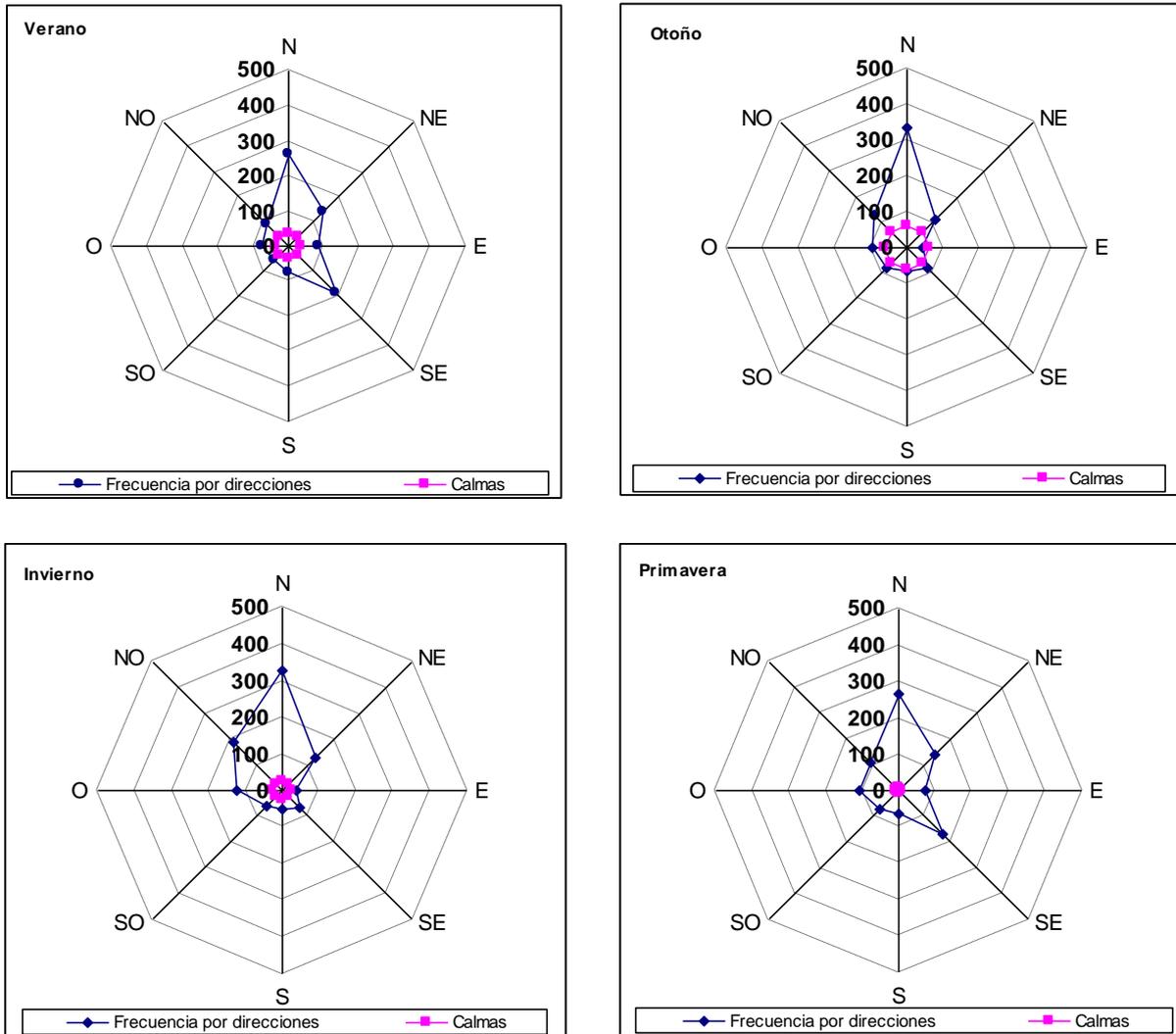


Figura 5.15. Viento estacional de Ingeniero White período 2005 – 2009. Frecuencia en escala de 1000. Elaboración propia.

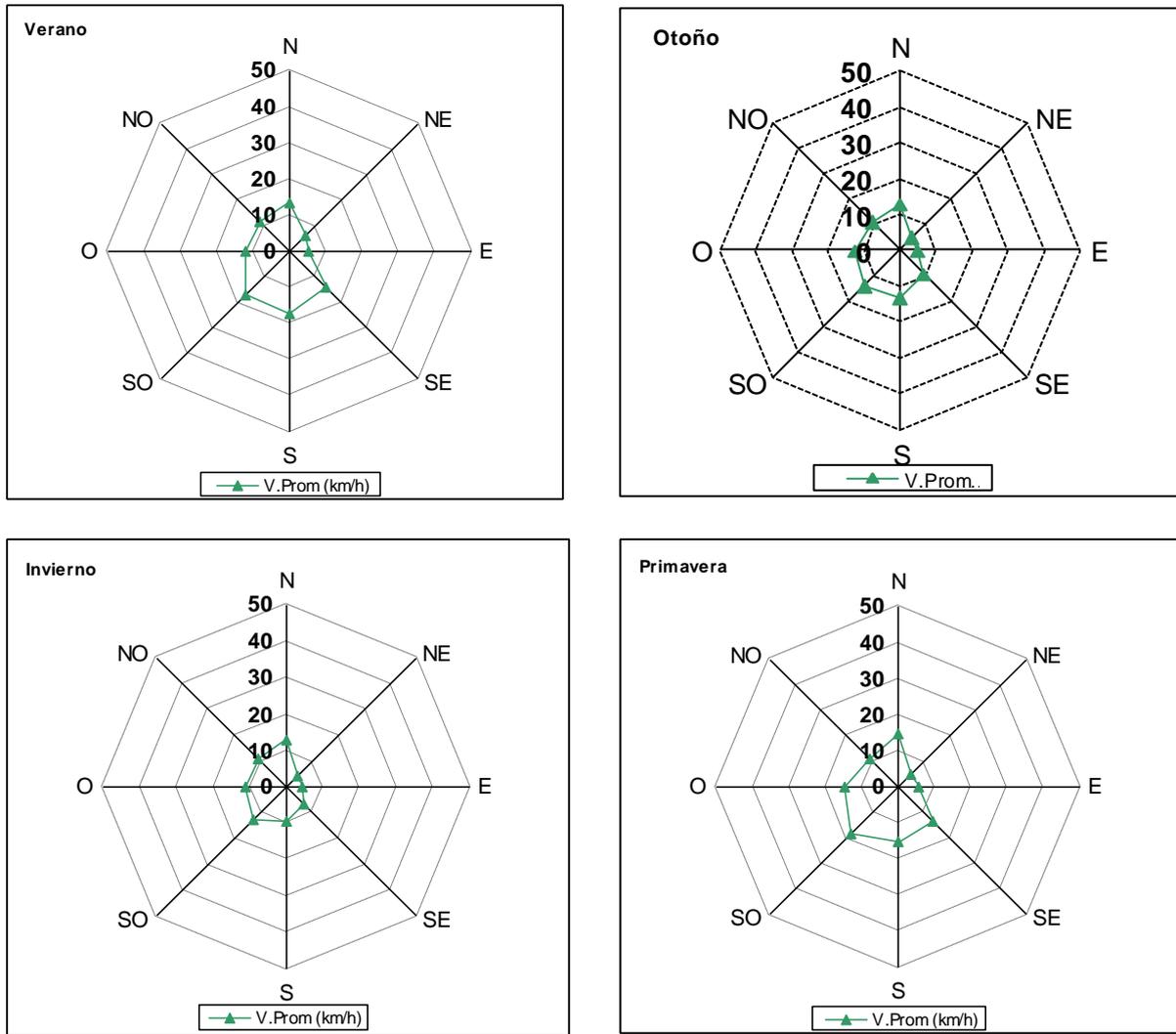


Figura 5.16. Velocidades medias del viento de Ingeniero White período 2005 – 2009. Elaboración propia.

La rosa de los vientos anual muestra la dominancia del viento Norte como en las décadas anteriormente analizadas. Siguen en orden la frecuencia de los vientos Noroeste y Noreste y con escasos valores menores le sigue la dirección Sureste (Fig. 5.17).

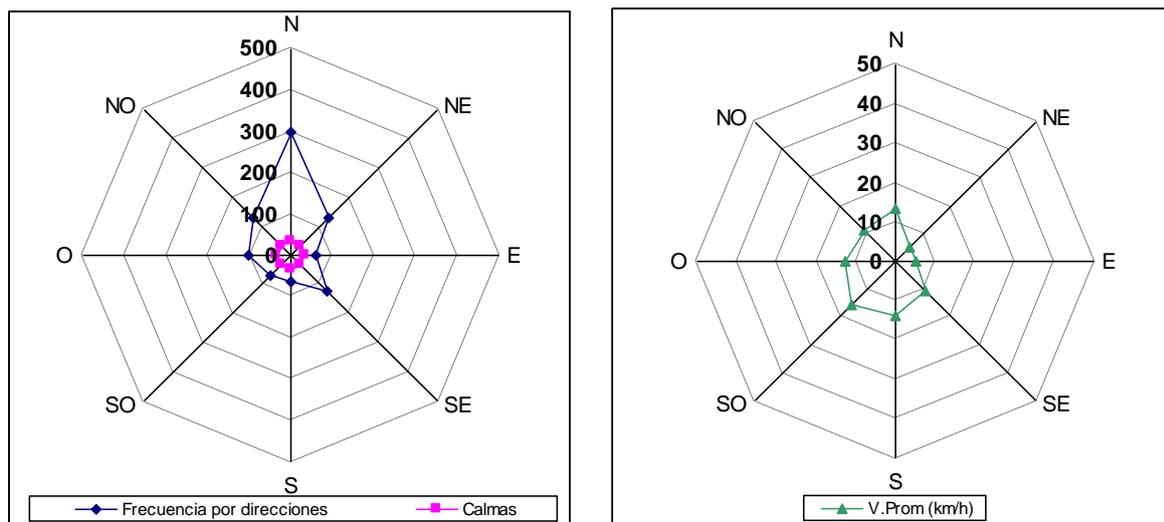


Figura 5.17. Rosa de los vientos anual de Ingeniero White período 2005 – 2009. Frecuencia en escala de 1000. Elaboración propia.

5.4. Precipitaciones en la ciudad de Bahía Blanca

El régimen de precipitaciones en el suroeste bonaerense durante el período 1970 – 2008 analizado por Campo *et al.* (2009) mostró un ciclo seco entre los años 1978 y 1988. Hubo años cuyos valores de precipitación superaron los 1.000 mm (1976 y 1992) que produjeron inconvenientes en los centros poblados y años con registros menores a los 400 mm, como lo fue el año 2008 con escasos 383 mm.

El valor medio para el período de 1908 – 2008 fue 584 mm, el 57 % de los registros quedó por debajo del mismo mientras que el restante 43 % lo superó (Campo *et al.*, 2009). Los máximos valores de precipitación se manifestaron en primavera y en otoño y los mínimos en invierno (Campo de Ferreras *et al.*, 2004a).

Los trabajos realizados sobre estudios de precipitaciones en el área local, demostraron una gran variabilidad mensual y anual de las mismas para los distintos períodos estudiados (Zapperi *et al.*, 2006; Zapperi *et al.*; 2007; Gil *et al.*, 2008). En la figura 5.18 se observan los valores alcanzados por los días con mayores precipitaciones, en la ciudad de Bahía Blanca, para el siglo XX hasta la fecha.

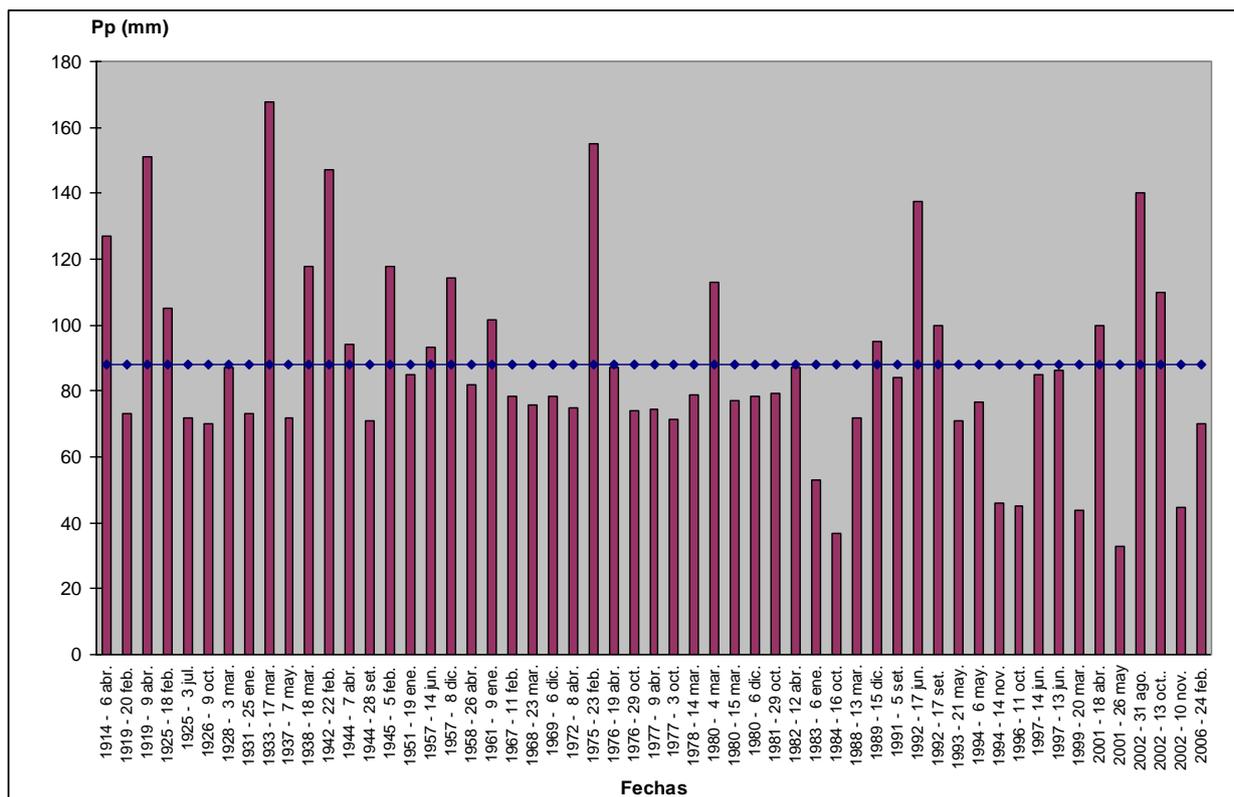


Figura 5.18. Días más lluviosos. La línea azul muestra el promedio de los valores máximos. Elaboración y actualización propia sobre la base de información periodística y del Servicio Meteorológico Nacional.

El mes de marzo de 1933 registró el pico máximo con un valor acumulado de 160 mm. Los meses que alcanzaron los registros más altos en mayor número de veces fueron marzo y abril (9 registros) siguiendo en orden decreciente el mes de febrero y octubre (7 registros). Agosto y julio fueron los meses que sólo presentaron un registro.

Si se considera la media de estos valores máximos (87,92 mm) los primeros 50 años del siglo XX tuvieron 8 valores que superaron esa media al igual que los últimos 50 años de ese siglo. Para el siglo XXI ya se produjeron 3 eventos de precipitaciones que superaron esa media, dos de estos sucesos ocurrieron en el año 2002. Si bien se observa gran variabilidad en los sucesos máximos, éstos se reiteran en forma periódica con una moda de un año.

5.5. Sucesos destacados

La información periodística recabada y que se detalló en el capítulo 1 tuvo como objetivo conocer las fechas en las que habían ocurrido importantes sucesos de inundación que afectaron al área de estudio. Se encontraron variadas situaciones que provocaron

distintos inconvenientes, algunos más graves que otros. Los eventos que fueron seleccionados configuraron una inundación de más de 3 arterias y provocaron inconvenientes en Ingeniero White por el tiempo en que tardó el agua en evacuar hacia el estuario. Los vientos fuertes del Sur y del Sureste con ráfagas a veces mayores que 100 a 120 km/h fueron factores siempre presentes en estos acontecimientos. La tabla 5.5 detalla las fechas en que ocurrieron estos sucesos. Los meses de agosto y abril fueron los que manifestaron mayor frecuencia de estas ocurrencias.

1934 - 5 febrero	1996 - 11 octubre
1976 - 19 abril	1997 - 4 abril
1977 - 15 mayo	1997 - 14 junio
1980 - 4 marzo	1997 - 13 julio
1984 - 16 octubre	1999 - 20 marzo
1990 - 16 enero	2001 - 18 abril
1991 - 5 setiembre	2001 - 26 mayo
1992 - 17 junio	2002 - 27 agosto
1992 - 17 setiembre	2002 - 13 octubre
1994 - 14 noviembre	2002 - 10 noviembre
1996 - 20 julio	2007 - 13 enero

Tabla 5.5. Eventos destacados de inundación en Ingeniero White.

De los 22 eventos encontrados a través de información periodística, surgen sólo 7 de ellos (32 %) donde no se registraron fuertes precipitaciones (menos de 35 mm) y en algunos de estos casos ni siquiera llovió. Sin embargo en la mayoría de los casos estuvo presente el viento proveniente del Sur y Sureste. En 9 de estos eventos el diario local lo definió como Sudestada (41 %) quedando el resto de los hechos catalogados como un suceso de una tormenta con lluvia intensa.

5.6. Análisis de eventos mediante Cartas del Tiempo

El análisis de los estados del tiempo que permitan caracterizar algunas de las situaciones enumeradas en el ítem anterior, es un elemento importante en el estudio de las causas y efectos de sucesos en el área de estudio. El uso de las cartas del tiempo permite analizar lo acontecido meteorológicamente en una fecha determinada. Las cartas del tiempo son herramientas fundamentales e indispensables en el análisis de los estados de tiempo. Explican las situaciones atmosféricas que produjeron los estados dominantes en otras fechas (Ramos y Campo, 2008).

Las tormentas son estados de tiempo que producen importantes inconvenientes en el área de estudio; provocan vientos fuertes de más de 100 km/h con ráfagas huracanadas e importantes lluvias. El avance de frentes es la causa que genera la mayor cantidad de precipitaciones así como también las altas temperaturas que generan tormentas de masas de aire y otras condiciones de inestabilidad (Campo *et al.*, 2009).

El evento ocurrido en Ingeniero White los días 19 y 20 de abril de 1976 fue explicado por el diario local como un fenómeno hidrometeorológico originado por la entrada de una masa de aire de alta presión sobre la Patagonia Central y una depresión asociada a una onda frontal ubicada al este de Buenos Aires creándose un marcado gradiente de presión entre estos dos sistemas (La Nueva Provincia, 21 de abril de 1976).

Algunos de los eventos destacados en la tabla 5.4 se estudiaron a través de las cartas del tiempo. El evento del 27 de agosto de 2002 fue estudiado por Zapperi *et al.* (2006) y el del 9 de noviembre de 2002 por Torrero (2009).

Zapperi *et al.* (2006) estudiaron, a través del análisis de cartas sinópticas, un temporal que se extendió por toda la región del suroeste bonaerense iniciándose el día 26 de agosto de 2002. En la carta del tiempo del día 26, 09 Z se advirtió el pasaje de un frente cálido como la situación meteorológica generadora de este estado de mal tiempo. Ese día hubo un evento de inundación en el área de estudio producido por intensas precipitaciones, tormentas eléctricas acompañadas de granizo y fuertes vientos que fueron el resultado de este temporal. El día 23 de agosto comenzó a gestarse este evento, debido a un incremento de temperatura y humedad en la atmósfera. Este frente cálido se extendió desde el centro del país hasta el suroeste de Buenos Aires, con registros de temperatura superiores a los normales para esa época. El día 26 un frente de tormenta pasaba por el noroeste de Bahía Blanca dejando importantes lluvias y ráfagas de viento de hasta 70 km/h. El 26 por la tarde se gestó una depresión que dio origen a la continuidad de la inestabilidad. Los días 26, 27 y 28 se registraron precipitaciones en Bahía Blanca y toda la región suroeste de la provincia de Buenos Aires.

El día 10 de noviembre de 2002 se presentó una situación de Sudestada que fue analizada por Torrero (2009) a través de las cartas del tiempo. Este estado del tiempo comenzó a gestarse el día 9 con la formación de una onda frontal a partir de un frente caliente. Torrero analizó la situación sinóptica por medio de tres cartas de tiempo del día 9 de noviembre. La carta de tiempo correspondiente a la hora 12 Z, mostró un desplazamiento de todos los centros isobáricos, la formación de dos centros ciclónicos y de un anticiclón. El anticiclón del Océano Pacífico se ubicó con influencia sobre el centro y norte de Chile,

centro de Argentina y norte de la región patagónica. En la carta del tiempo de esta fecha aparece un centro anticiclónico que afectó el sureste de Brasil.

Torrero (2009) determinó los movimientos de estos centros. El ciclón del norte de Argentina alcanzó con su influencia todo el norte del país y sobre el Océano Pacífico el ciclón se desplazó longitudinalmente afectando el suroeste de Chile y el suroeste de Tierra del Fuego. Dos ondas ciclónicas se localizaron también en el sector Antártico en donde el cielo permaneció cubierto con algunas precipitaciones. Los dos ciclones generados se ubicaron sobre el continente: al noreste de la provincia de Buenos Aires y sobre la costa bonaerense. La trayectoria de los dos sistemas fue de Suroeste a Noreste. En el suroeste bonaerense se dieron precipitaciones con vientos moderados (20 a 40 km/h) predominantes del Sur, Sureste y Suroeste y las temperaturas oscilaron entre los 12 °C y 14°C. El estudio de la carta del tiempo correspondiente a la hora 18 Z mostró al anticiclón del Pacífico Sur cercano a la costa chilena con influencia sobre el territorio argentino. El del Atlántico se desplazó hacia el Sureste. El centro ciclónico ubicado en la provincia de Buenos Aires tuvo un mínimo desplazamiento hacia el Norte y el ciclón costero hacia el Sur. Se desarrollaron tormentas en el centro de la República Argentina y sur de la provincia de Buenos Aires, con vientos fuertes (60 km/h) del sector Sur y Sureste y temperaturas que oscilaron entre 10 °C y 12 °C en el oeste y sur de la provincia de Buenos Aires. Un frente frío ingresó por el extremo suroeste de Argentina. Torrero (2009) describió así una situación sinóptica de Sudestada en fase 2.

A los efectos de esta tesis se completa el estudio de eventos destacados en la tabla 5.4. Se analizó la situación sinóptica del día 10 de noviembre mediante el estudio de las cartas del tiempo correspondiente a los horarios 00 Z, 12 Z y 18 Z de esa fecha. En la carta del tiempo 00 Z se observa que las precipitaciones persistían en el área, producto de la influencia de una onda frontal. Un ciclón se encontraba avanzando lentamente en el sentido Este con un valor mínimo de presión de 999 hPa. La velocidad del viento en el área de estudio era de 56 km/h de dirección Sur producto de un importante gradiente isobárico. Una situación de alta presión generada por el anticiclón del Pacífico Sur extendía su influencia sobre la Patagonia (Fig. 5.19).

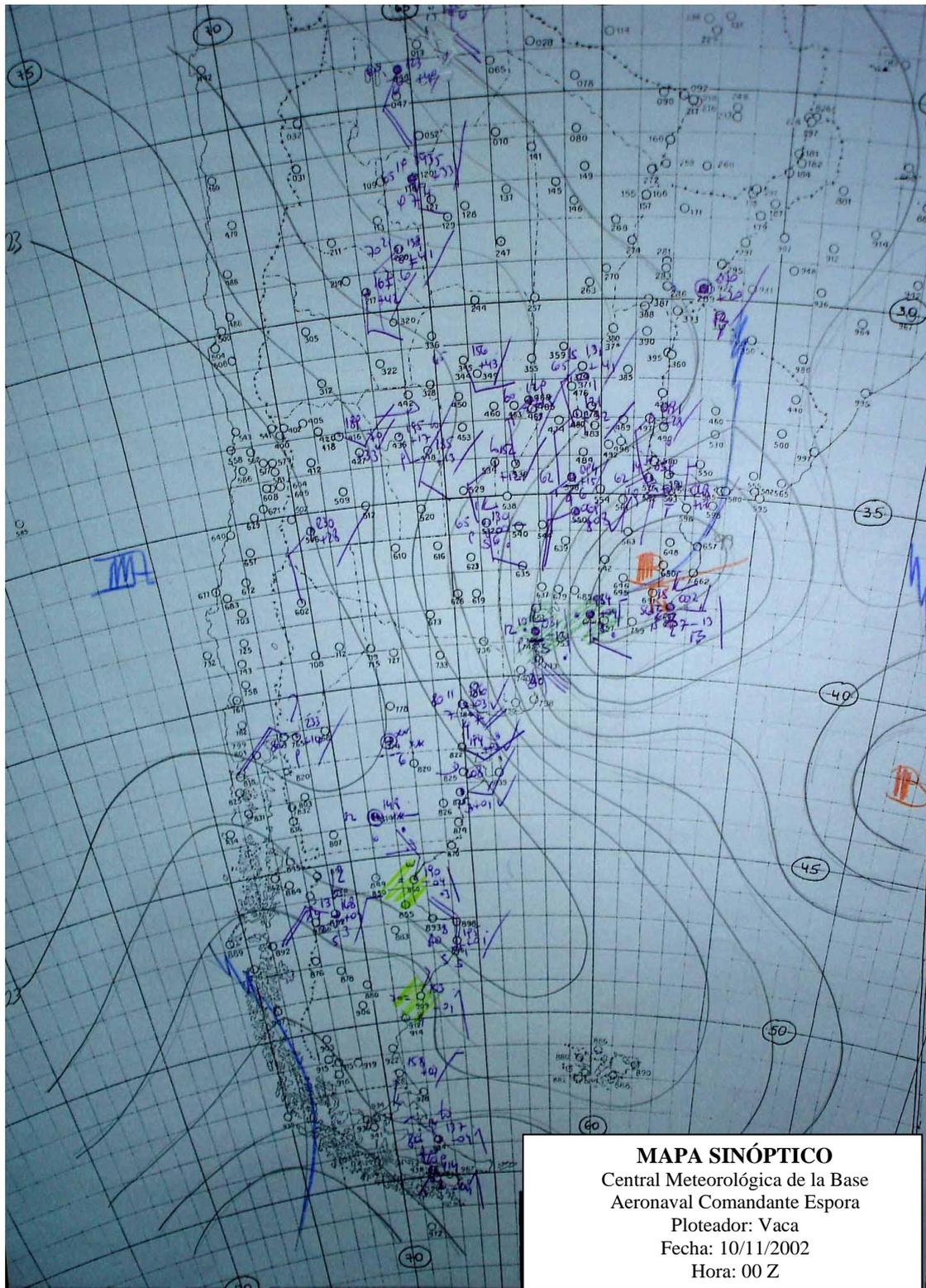


Figura 5.19. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 00 Z.

En la carta 12 Z del 10 de noviembre, se observa un puente de altas presiones en la Patagonia conformado por los anticiclones del Pacífico y Atlántico Sur, que provocaba

buenas condiciones de tiempo en esa zona. En el área de estudio en cambio, se seguían desarrollando condiciones de precipitación con torrencialidad causadas por los fuertes vientos del Sur (Fig. 5.20).

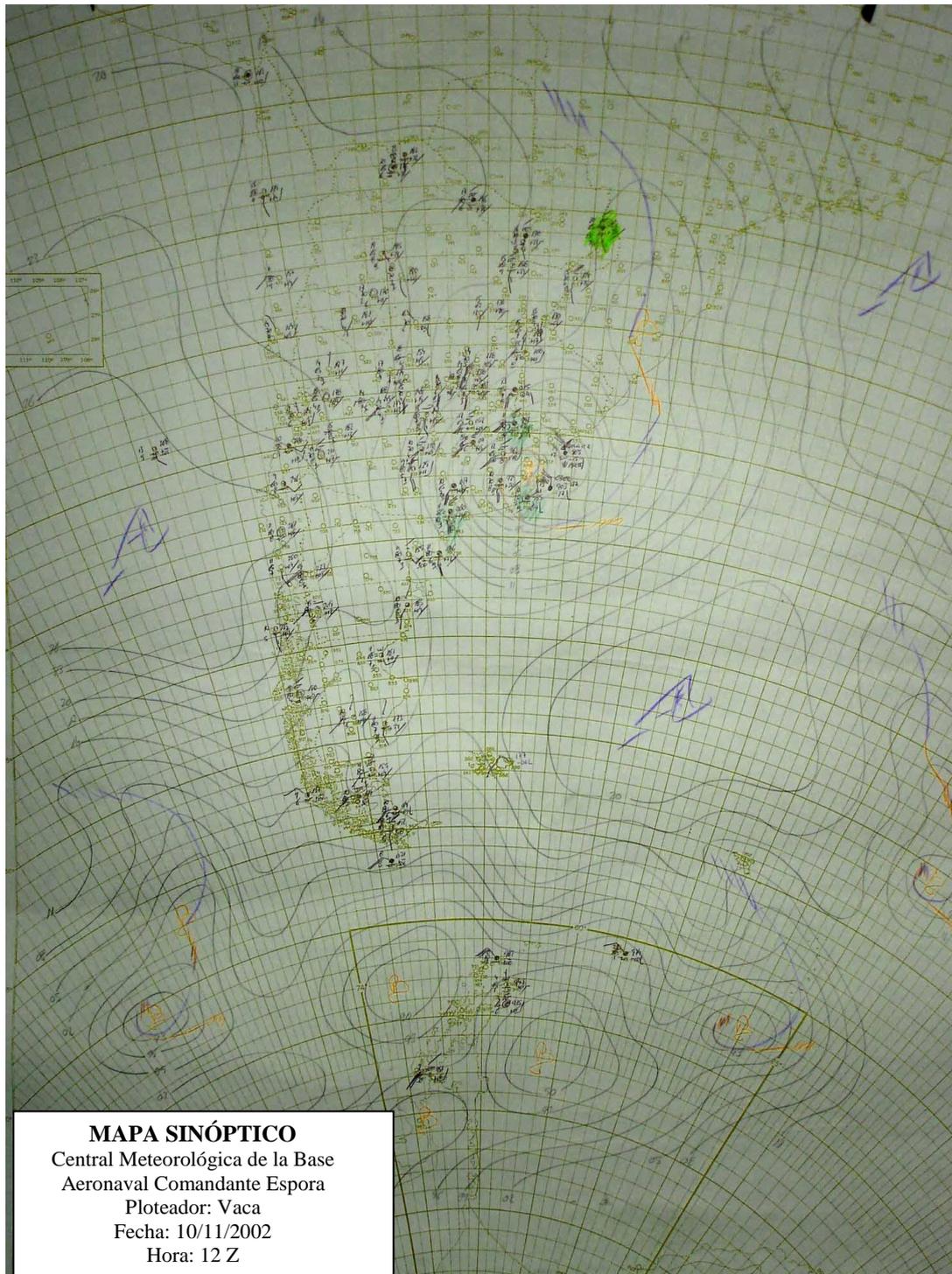


Figura 5.20. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 12 Z.

Por último en la carta 18 Z las precipitaciones ya se extendieron por toda la provincia de Buenos Aires, con vientos de dirección Sur de 37 km/h (Fig. 5.21). El diario local explicó este fenómeno como un temporal que se manifestó en la ciudad con ráfagas de 93 km/h y 84,4 mm de lluvias caídas en 24 hs y que tuvo su origen en una zona de baja presión situada en proximidades de Mar del Plata, que provocó vientos fuertes del Sur y Suroeste (La Nueva Provincia, 11 de noviembre de 2002).

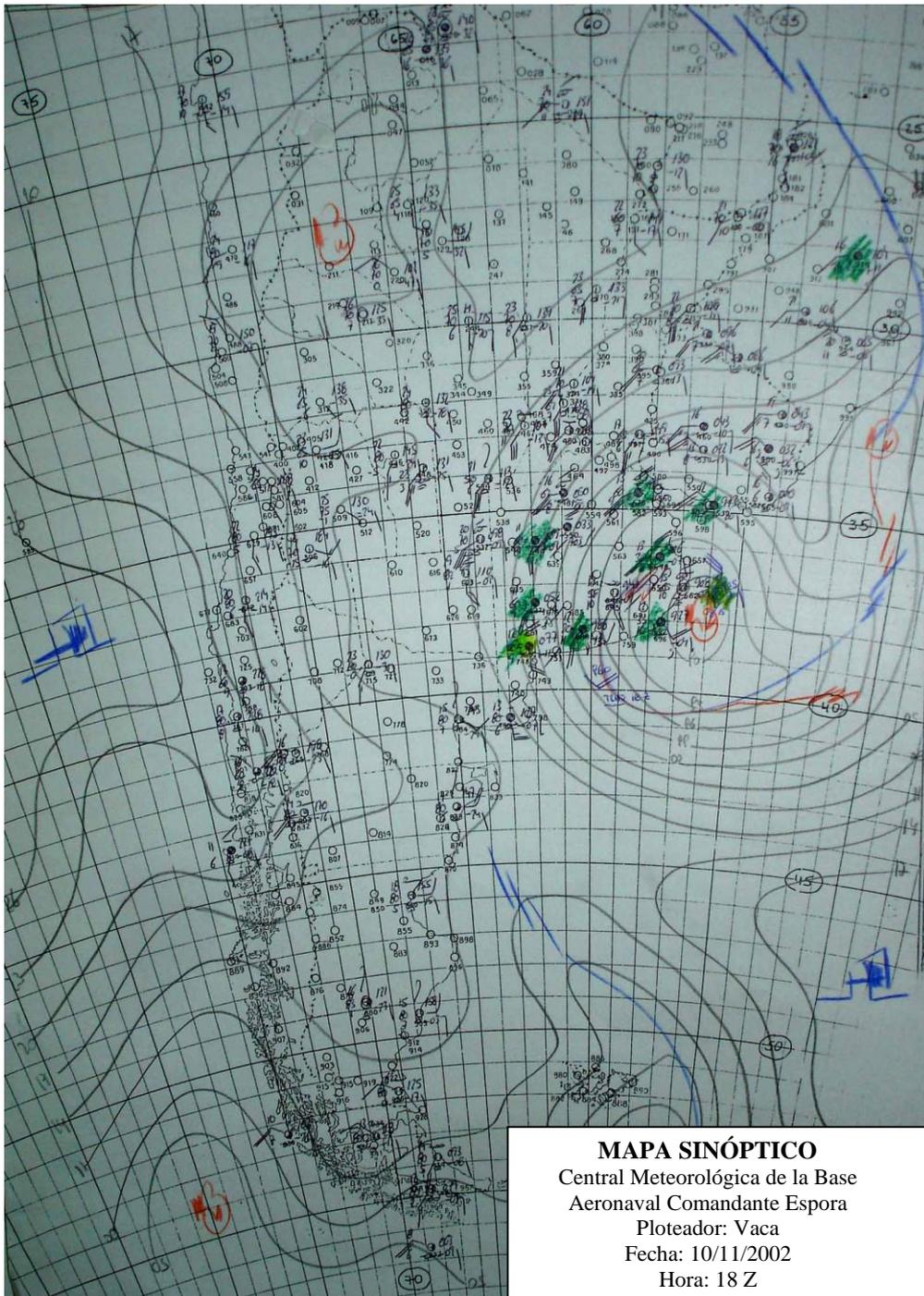


Figura 5.21. Carta del tiempo del 10 de noviembre de 2002: 18 Z.

Se analizó otra situación sinóptica de otra de las fechas de eventos destacados de la tabla 5.4. Se empleó la carta del tiempo del día 13 de octubre de 2002, correspondiente a la hora 12 Z. Ese día se generó una tormenta eléctrica con línea de estabilidad (Fig. 5.22) en la que precipitaron 80 mm, en casi tres horas. La temperatura máxima del día anterior fue de alrededor de 30 °C, hecho que contribuyó a un desarrollo vertical de la nubosidad. Así se gestaron las condiciones para la ocurrencia de una tormenta. La ciudad padeció una tormenta severa, con vientos que llegaron a los 40 km/h y una fuerte precipitación de 100 mm. La situación creada fue propicia para un tornado, que atravesó la ciudad, pero no alcanzó la superficie (La Nueva Provincia, 15 de octubre de 2002).

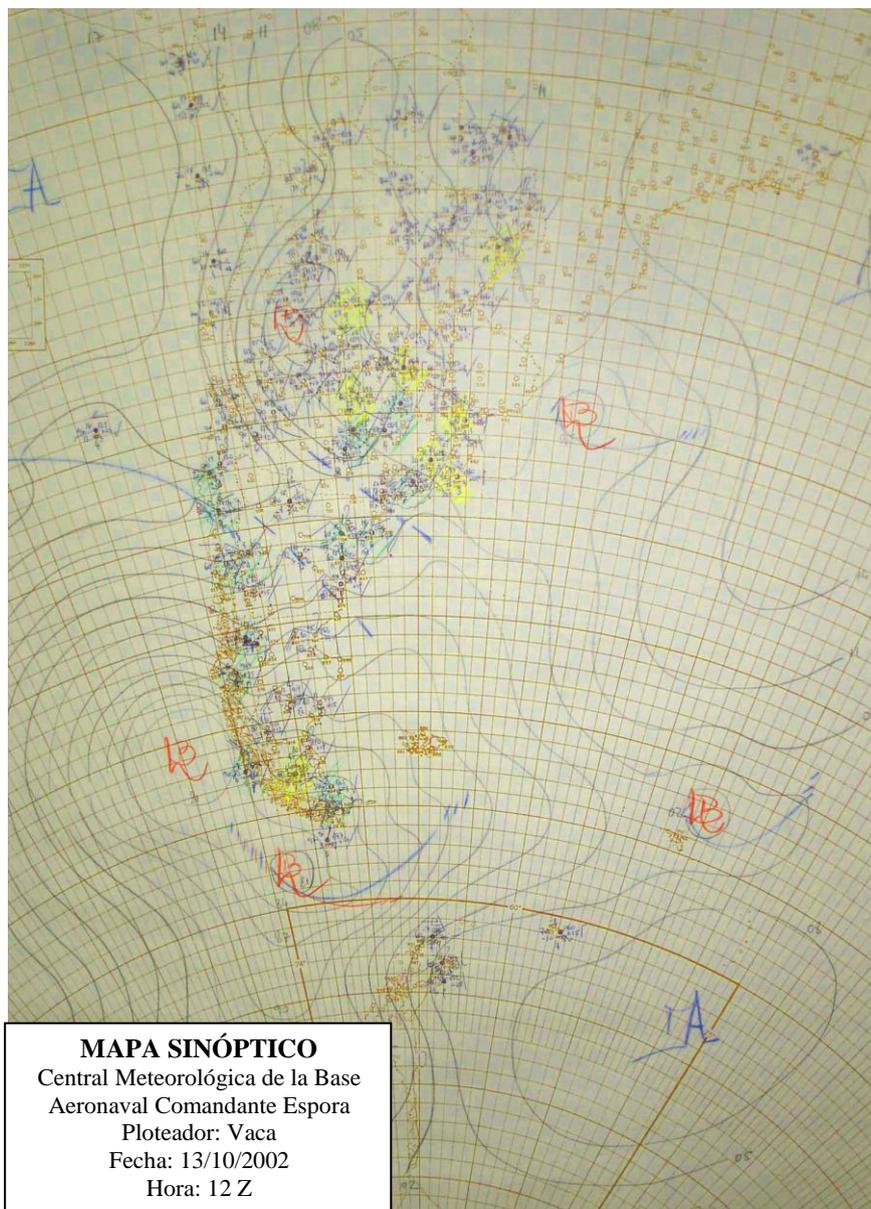


Figura 5.22. Carta del tiempo del 13 de octubre de 2002: 12 Z.

5.7. Distribución de eventos meteorológicos

El número de eventos meteorológicos que ocasionaron problemas de inundación en Ingeniero White presenta una distribución que marca cierta periodicidad en los sucesos (Fig. 5.23). Se eligieron los hechos que marcaron una situación de peligro en el área, conforme ya fue explicado en el ítem 5.5.

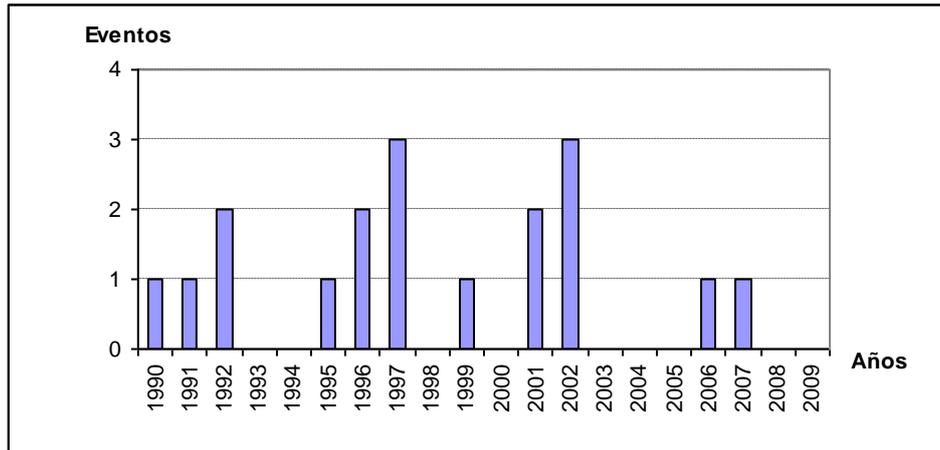


Figura 5.23. Distribución de eventos meteorológicos. Años 1990 – 2009.

En la figura 5.24 se acompaña el gráfico que relaciona los días de máximas precipitaciones sucedidas a partir del año 1990, los días que hubo un evento de inundación en el área de estudio, los que se manifestó una alta pleamar y los días en que se produjo una Sudestada. Se define como *gran pleamar* a aquella altura de marea real observada que supera los medios máximos. No se pudo obtener información de altura de marea real observada para todas las fechas requeridas por no existir registros continuos. Por lo tanto, podrían haber ocurrido eventos de gran pleamar que no fueron considerados.

Tampoco se registró información meteorológica para todas las fechas por lo que, si bien se analizó lo sucedido en los últimos 20 años, se debe considerar la posible existencia de datos faltantes. Se indicaron en el gráfico los valores de precipitación caída para cada fecha, éstos fueron los únicos datos graficados con información de milímetros caídos, el resto de los eventos sólo se agregaron al gráfico por fechas sin considerar ninguna variable en el eje “y”.

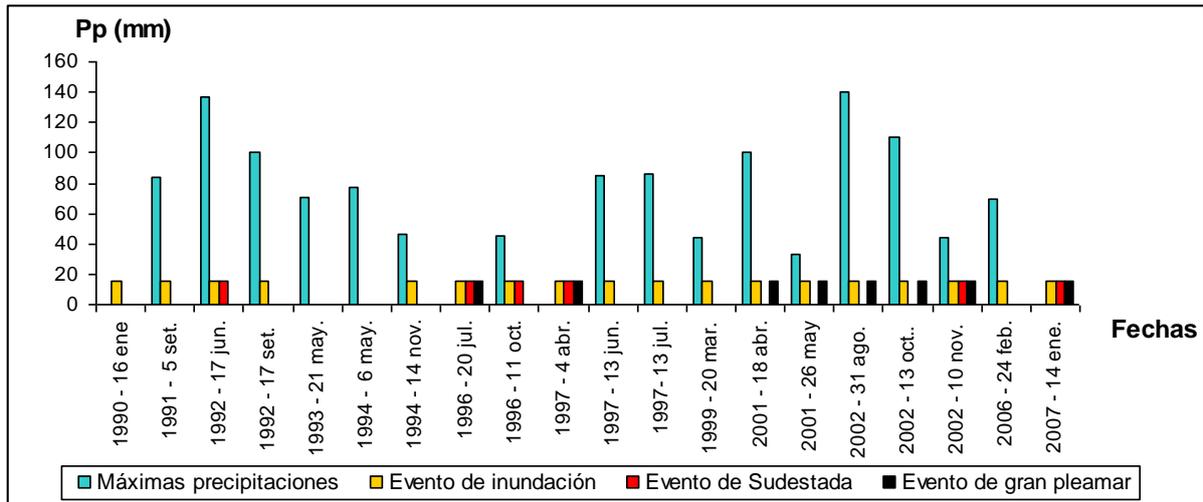


Figura 5.24. Relación de precipitaciones máximas con eventos de inundación, Sudestadas y grandes pleamares. Período 1990 – 2007.

En la figura 5.24 se observa que los eventos se han ido repitiendo en forma reiterada desde el año analizado (1990). Si bien las precipitaciones marcan una tendencia en el tiempo en la repetición de sucesos, existen fechas en que los valores de precipitación han sido muy elevados y sin embargo no se manifestaron inundaciones en el área de estudio.

La pleamar con valores por encima de los medios máximos se puede considerar una manifestación recurrente en cada evento, ya que hubo fechas en que no se obtuvo información pero el diario local dio cuenta del incremento en la altura de la marea real observada. En el capítulo siguiente se estudiarán las diferentes situaciones que produjeron el aumento de la marea.

En síntesis, las situaciones sinópticas explicadas en este capítulo son perjudiciales para el área desde el punto de vista de la intensidad de los vientos que generan y las lluvias que provocan. El perjuicio más importante del 13 de octubre de 2002 fue la precipitación intensa que hizo colapsar los desagües no dando tiempo al escurrimiento. La Sudestada del 10 de noviembre de 2002 generó un incremento en la altura de marea que sumado a las precipitaciones intensas no permitieron la salida del agua hacia el estuario.

Los fuertes vientos y lluvias producidos durante una Sudestada contribuyen al avance del agua de mar sobre el continente obstruyendo la salida del agua de lluvia a través de los conductos pluviales. Si la precipitación es intensa, el evento puede alcanzar características de inundación.

El umbral de precipitación cuando se conjugan eventos de Sudestada con lluvias de altos registros es 90 mm con una frecuencia de 3 eventos en 100 años. Cuando sólo suceden precipitaciones el umbral es 84 mm con 6 eventos en 100 años.

6. LAS MAREAS EN INGENIERO WHITE

La marea es uno de los fenómenos más importantes que se manifiestan a lo largo de las costas (Campo de Ferreras, 1999). Es de gran interés su estudio por su influencia en el tema de esta tesis. No sólo es importante conocer la altura de la marea en un determinado lugar especialmente un puerto, sino su momento de ocurrencia y otros fenómenos asociados a ella. Nonn (1987) explica que las mareas interactúan con las olas modificando su acción y menciona que existe además, una relación entre el estado del mar y las grandes mareas. Este autor manifiesta que las grandes mareas refuerzan las barras que se encuentran en la boca de los estuarios y golfos y que las tempestades son frecuentes en la época de la marea de equinoccio.

En este capítulo se estudiaron datos de máximos y mínimos de marea durante los últimos 100 años. Se analizaron las características generales de las mareas en el estuario (alturas máximas, mínimas, valores medios, amplitudes) con datos del año 2002 y fechas puntuales en los que se manifestó un evento significativo en Ingeniero White. Se calcularon las fluctuaciones de la marea por diferencia de la marea real y la marea astronómica pronosticada, con registros del año 2002. Se analizaron también fluctuaciones entre valores observados y pronosticados así como la influencia del viento en la mareas, con datos del año 2006.

6.1. Características generales del estuario de Bahía Blanca

El estuario de Bahía Blanca tiene un canal principal de 60 km de longitud y constituye la vía de acceso a complejos portuarios de importancia regional e internacional como son el de Ingeniero White y otros como Puerto Galván, Puerto Belgrano y Puerto Rosales. Como ya fue mencionado, el río Sauce Chico, ubicado en la cabecera del estuario, y el río Napostá Grande son los principales tributarios. El ancho del cauce del estuario es variable, desde 200 m en la cabecera hasta 3 – 4 km aproximadamente en la boca y la profundidad media es del orden de 10 m aunque varía entre 22 m frente a Puerto Rosales y 3 – 4 m en la cabecera (Piccolo y Perillo, 1997). Tiene un desarrollo de costa marítima de 400 km entre Baliza Monte Hermoso y Punta Laberinto y una superficie de aproximadamente 3.000 km² (Melo *et al.*, 2003). El interior del estuario contiene una serie de canales de primer orden interconectados (Angeles, 2001).

Varios autores (Piccolo, 1987; Perillo y Piccolo, 1991; Palma, 1995; Piccolo y Perillo, 1997; Gómez y Borel, 2006; Giagante *et al.*, 2008) han trabajado sobre datos de marea en la zona del estuario de Bahía Blanca y han estudiado la geomorfología y características del mismo que contribuyen a analizar su influencia en el área de estudio.

Al estuario de Bahía Blanca se lo clasifica como un sistema mesomareal (Perillo *et al.*, 1987; Piccolo y Perillo, 1997) que corresponde a las mareas que se encuentran en un rango comprendido entre los dos y los cuatro metros. Según Hayes (1975) ésta es una clasificación que se basa en las variaciones del rango de marea (H), donde se las clasifica en micromareales cuando $H < 2$ m y macromareales cuando $H > 4$ m.

La circulación del estuario de Bahía Blanca es regida por una onda de marea semidiurna, con un rango de marea que varía entre 2,3 y 1,4 m en la boca del estuario y entre 3,8 y 2,7 m en la cabecera del mismo durante sicigia y cuadratura respectivamente (Cuadrado *et al.*, 2005). Piccolo y Perillo (1997) dan un rango medio que varía entre 2 m en la boca del estuario a 3,3 m en el puerto de Ingeniero White.

Palma (1995) estableció un rango de marea media astronómica de 2 m en la torre mareográfica ubicada en la boca del estuario, hasta 3,3 m en el puerto de Ingeniero White. Otros trabajos mencionan una amplitud promedio que varía entre 3,5 m y 2,2 m desde la cabeza hasta la boca del estuario (Perillo y Piccolo, 1991). Gómez y Borel (2006) actualizaron el rango máximo de marea a los 2,4 m en la boca del estuario hasta más de 4 m en su cabecera. Caló *et al.* (1997) establecen una amplitud de marea de 2 a 4 m. Este aumento del rango de marea es causado por la geometría del estuario y puede incluso duplicarse por la influencia del viento (Perillo y Piccolo, 1991).

El estuario está formado por numerosos canales de marea orientados Noroeste – Sureste separados entre sí por planicies de marea e islas. Estos canales de marea se interconectan entre sí y se conectan a canales mayores desde donde desembocan al mar. El estuario se encuentra en estado de erosión de sus planicies y costas internas (Piccolo y Perillo, 1997).

El comportamiento semidiurno muestra que los niveles que alcanzan las aguas en las dos pleamares no son iguales, lo mismo pasa con las bajamares. El nivel medio para el puerto de Ingeniero White en el año 2000 fue de 2,59 m (SHN, 2000). Debido a que las corrientes en el estuario son asimétricas, el tiempo entre la bajamar y la pleamar no es el mismo. Las velocidades en bajamar son mayores que en pleamar, siendo la velocidad máxima de la corriente en bajamar el doble que en pleamar (Piccolo y Perillo, 1997).

Según Petroni (2005) los agentes que actúan en un estuario no se presentan en forma aislada, sino que interactúan entre sí y con los bordes, influyendo en la actividad radicada en un lugar. Son factores o agentes que presentan una variabilidad de horas, de días o de años. Estos fenómenos son: las olas provocadas por el viento (alta frecuencia), mareas astronómicas, mareas meteorológicas (baja frecuencia) y las corrientes inducidas por grandes ríos (fenómenos esporádicos). El primer fenómeno mencionado como de alta frecuencia son las olas de viento, que influyen en factores como la navegación, el transporte de sedimentos, la erosión en las costas, diseño portuario, etc. Ellas actúan no sólo dentro de recintos portuarios y canales de acceso sino también en las costas del estuario. El aire ejerce una presión sobre la superficie del agua, zona de interfase entre el aire y el agua, por lo que la misma dejará de ser horizontal generando las olas. La formación de ondas en superficie crecerá en función de la intensidad del viento y en función de la distancia sobre la cual está soplando y el tiempo que dure. La interfase aire agua es la región donde se desarrolla la mayor actividad del hombre y es por lo tanto la que presenta problemas de particular complejidad (Petroni, 2005).

Entre los fenómenos de baja frecuencia Petroni (2005) incluye a los movimientos de marea vinculados a problemas tales como: sobre elevación del nivel del mar, navegación, diseño portuario, estabilidad de canales de navegación, transporte de sedimentos en suspensión y por arrastre, etc. La hidrodinámica de los mares y estuarios, tiene vinculación directa con la generación de corrientes costeras que son responsables de las modificaciones morfológicas de sus márgenes.

Uno de los típicos trabajos ejecutados por el hombre en los estuarios es el dragado de los canales de acceso, con el objeto de aumentar el calado de los barcos que pueden acceder a los puertos construidos a sus orillas. Un efecto muy directo de la profundización de un estuario es el incremento de la penetración de la marea, generando como consecuencia un aumento de los niveles de agua, aguas arriba, aumentando en consecuencia los riesgos de inundaciones.

En 1988 el gobierno argentino adjudicó a la empresa soviética Technostroyexport, el dragado del canal de acceso, del antepuerto y de la zona de maniobras del puerto de Bahía Blanca, con el cual el puerto de Ingeniero White se transformaba así en un puerto de aguas profundas. La obra finalizó en julio de 1990, procediéndose a la extracción de 45.488.000 m³ de material y alcanzando un calado navegable de 45 pies (13,72 m). Posteriormente, se ejecutaron trabajos complementarios de gran importancia, como el dragado de profundización del canal principal de acceso a la Base Naval Puerto Belgrano y del

antepuerto y dársena de la citada base naval, el dragado de profundización del canal de vinculación entre puerto Ingeniero White y puerto Galván y el dragado de profundización en la zona de posta de inflamables de puerto Galván. Una importante parte del material refulado, fue destinado al relleno de áreas sobre las que hoy se asientan empresas como Profertil SA, Compañía Mega SA y otras. Se recuperaron 120 hectáreas de suelo firme extendiéndose la frontera de tierras aptas disponibles (Doria, 2009). El puerto de Ingeniero White tiene una profundidad en el muelle en los sitios 17, 18, 19 y 20 de 19 a 24 pies, que equivalen a valores de 5,80 m y 7,32 m respectivamente. En el canal principal de acceso al puerto, la profundidad alcanza los 15,25 m (50 pies). Los valores de profundidad del fondo marino se encuentran todos relacionados al cero del SHN y fueron alcanzados por medio de las tareas de dragado.

6.2. Plano de reducción

Existen dos tipos de mareas: las mareas de sicigias o "mareas vivas" que se producen cuando la Luna y el Sol están en conjunción (luna nueva) o en oposición (luna llena) y las mareas de cuadratura o mareas "muertas" que son las que se producen cuando el sol y la luna están formando un ángulo recto entre sí y que corresponde a la fase lunar de cuarto creciente o cuarto menguante. En las mareas de sicigias, los efectos de las fuerzas que actúan entre ambos astros se suman por lo que las pleamares son más altas que las pleamares promedio y las bajamares son más bajas que las bajamares promedio. Dentro de las mareas de sicigia hay dos con valores máximos y son las que se producen en los equinoccios de otoño y primavera, o sea cuando el Sol y la Luna se encuentran sobre el Ecuador. En el caso de las mareas de cuadraturas, las pleamares no son tan altas ni las bajamares tan pronunciadas.

Los valores de mareas se hallan referidos a un plano de reducción, por lo que para trabajar con estos valores y los valores que aportan los distintos planos que dan alturas sobre el terreno natural hay que considerar la relación existente entre ambos. En el caso de las cartas náuticas editadas en el país por el SHN (Fig. 6.1 y 6.2), el plano de reducción es el *"nivel de referencia de las profundidades indicadas sobre las cartas marinas (generalmente, nivel de bajamares) que representa el nivel de referencia de las alturas de marea. También se lo denomina referencia batimétrica o plano de referencia"* (SHN, 2000: 575). En estas cartas se lee la profundidad del mar en diferentes puntos referidos al plano de reducción. Este plano se determina usando las bajamares astronómicas y eligiendo según los casos, el límite inferior de las más bajas bajamares. En la figura 6.1 se observa la

ubicación de la carta náutica H-259 que corresponde al puerto de Ingeniero White. En la figura 6.2 se tiene parte de la carta H-259 con datos de las profundidades del fondo de los canales de acceso al puerto.

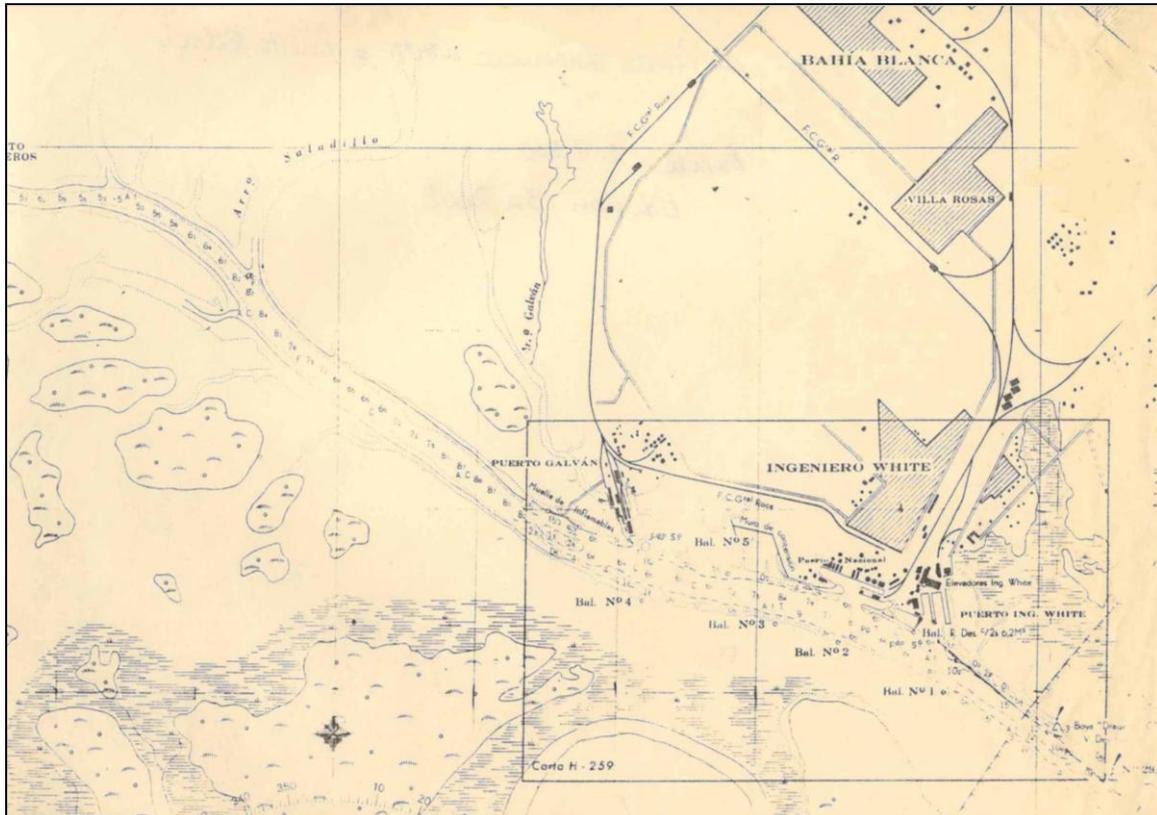


Figura 6.1. Ubicación de la carta H-259 del Servicio de Hidrografía Naval.

Los servicios hidrográficos adoptan para cada país su nivel cero y ése es el que utilizan para sus cartas. Si se analiza el plano de reducción adoptado para Puerto Belgrano por ejemplo, se observa que fue alcanzado o sobrepasado 102 veces hasta el año 1932 (Vago, 1932). La razón por lo que esto sucede surge de los vientos que hacen que las bajamares lleguen a niveles inferiores de lo previsto y las pleamares a niveles superiores.

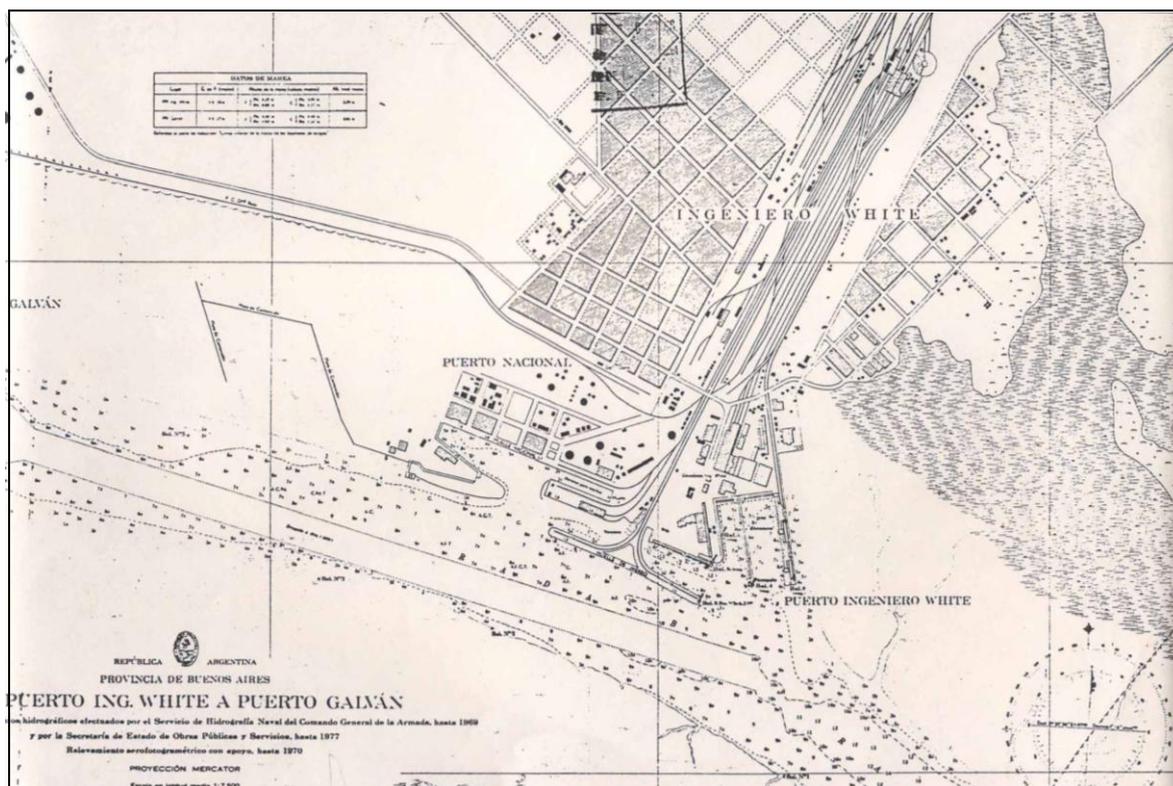


Figura 6.2. Parte de la carta H-259 del Servicio de Hidrografía Naval “Del Puerto Ingeniero White a Puerto Galván”. Relevamiento aerofotogramétrico hasta 1970, escala 1:7.500.

En la figura 6.3 se observa la ubicación del plano de reducción en relación con las pleamares y bajamares de sicigias y de cuadraturas. La ubicación del fondo marino en cualquier punto se extrae así de las cartas del SHN.

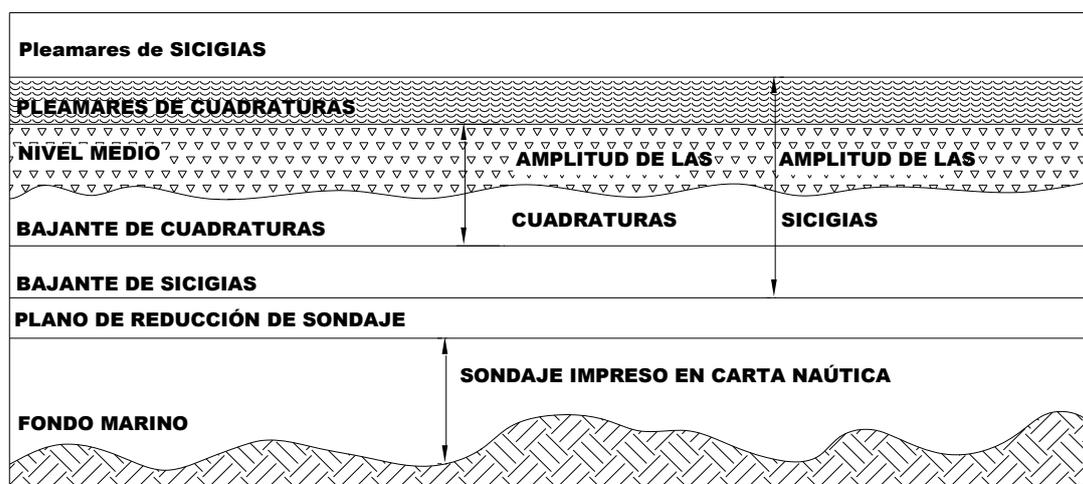


Figura 6.3. Esquema de nivel de mareas.
Fuente: Modificado de <http://www.cibernautica.com.ar/mareas/interpre.htm>

Si se desea conocer la profundidad de un lugar en el mar, se le debe sumar a la altura de la marea (referida al plano de reducción), el valor de la profundidad indicado en la carta náutica del SHN, o sea se determina como la suma del valor que surge de la carta más la altura del aguas sobre el plano de reducción. La figura 6.4 permite ver los valores a utilizar en el cálculo de las alturas de mareas.

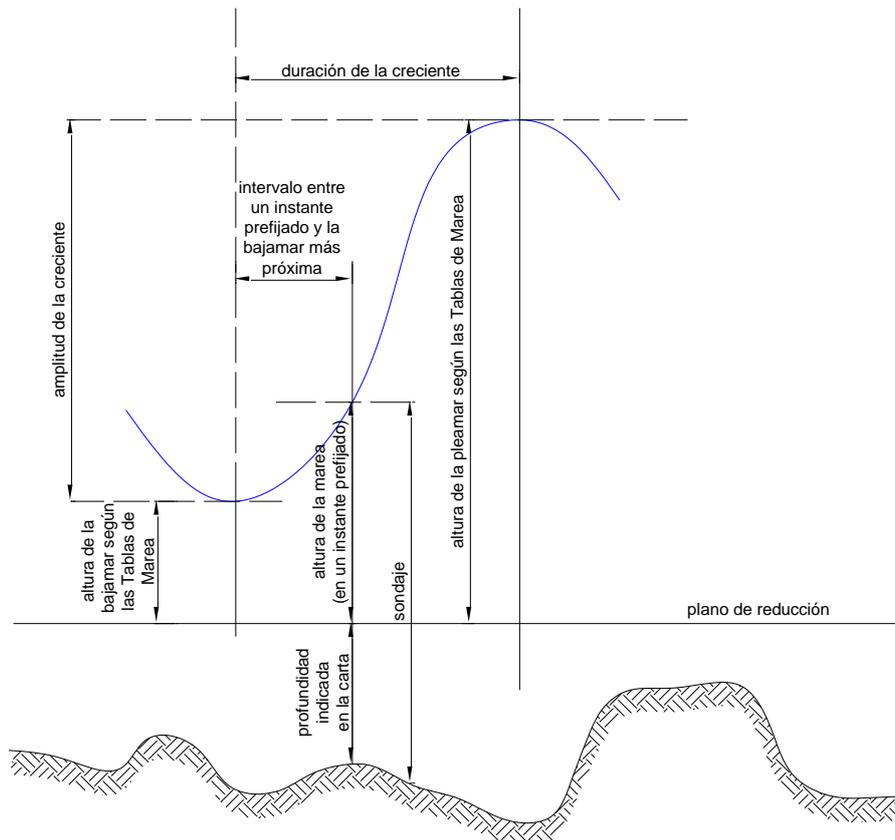


Figura 6.4. Cálculo de una marea para un instante prefijado.
Elaboración propia sobre la base de SHN, 2000.

Las cartas náuticas pueden tener más de un plano de reducción. Los planos de reducción adoptados para los puertos argentinos responden a las variadas características que presenta la marea en nuestras costas (SHN, 2000).

6.3. Relación entre los distintos niveles de referencia

El plano de reducción sobre el que se muestran las alturas pronosticadas y reales de las mareas en los diferentes puertos en la República Argentina debe ser tenido en cuenta

para poder relacionarlo con las cartas del IGM. Como ya se mencionó en el ítem 2.2.2, para utilizar valores de alturas ortométricas se debe conocer cuál es la referencia utilizada para su determinación.

El nivel medio de las aguas medias en el puerto de Mar del Plata fue adoptado como origen o cero de estas alturas luego de largas series de observaciones en el mareógrafo del Ministerio de Obras Públicas. La cota de esta marca fundamental ubicada en la proximidad del mar debe considerarse como arranque de todas las cotas que se determinan en el país. Por ejemplo, para pasar de las cotas referidas al cero del mareógrafo del Riachuelo, en Buenos Aires, a cotas de la citada referencia, se debe aplicar una corrección de $-0,556$ m (Müller, 1947).

Por lo tanto, si se quiere trabajar con alturas de mareas y cotas del IGM, se debe conocer también la diferencia existente entre estos dos ceros tomados como origen. En el puerto de Ingeniero White el plano de reducción adoptado por el SHN tiene una diferencia de $2,4256$ m con el cero adoptado por el IGM (Fig. 2.2).

6.4. Variación del nivel del mar

Se analizó información bibliográfica referida a la variación del nivel del mar en la zona del estuario de Bahía Blanca y su influencia en Ingeniero White. Las mismas se definen en la actualidad sobre la base de los registros de marea de Argentina los cuales son inferiores a 100 años. Los datos tomados en Bahía Blanca, no pueden ser empleados con suficiente confianza ya que los mismos pueden estar afectados por las condiciones dinámicas debido a la circulación estuarial y a la descarga fluvial (Proyecto de estudio sobre el cambio climático en Argentina, 1997). Para el estuario de Bahía Blanca, el valor calculado es de $1,6$ mm/año, velocidad del ascenso del nivel medio del mar. Este dato es coincidente con otros valores encontrados en otros puntos del Atlántico Occidental (Lanfredi *et al.*, 1988).

La figura 6.5 muestra la curva definida para el estuario de Bahía Blanca con las variaciones del nivel medio del mar en los últimos 8.000 años según Gómez y Perillo (1995). En la misma se indica las velocidades estimadas en los diferentes períodos.

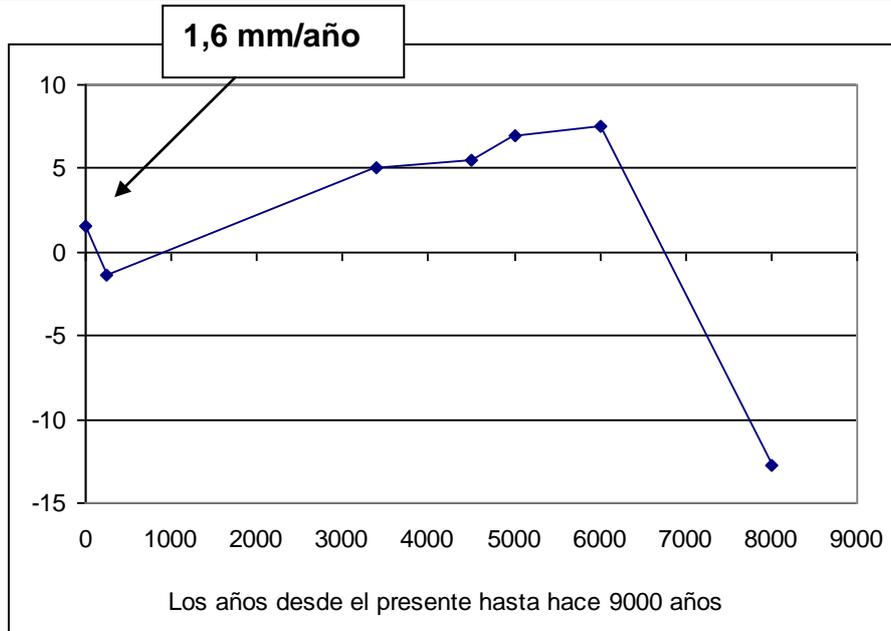


Figura 6.5. Variación relativa del nivel medio del mar en el estuario de Bahía Blanca.
Fuente: Modificado de Gómez y Perillo, 1995.

El análisis muestra las diferentes etapas evolutivas y los cambios en la velocidad de variación del nivel del mar. Se observa el ascenso rápido hace 8.000 años, a velocidades superiores a las actuales (Gómez y Perillo, 1995) (Fig. 6.5).

6.5. Características de la marea en Ingeniero White

El análisis de las características generales de la marea en Puerto Ingeniero White se ejemplificó en el presente trabajo, con la información mareográfica horaria para el año 2002. La figura 6.6 muestra la curva de distribución anual de los promedios diarios de marea para el año 2002. Los valores máximos medios diarios oscilan entre 3,50 m y 3,80 m y los mínimos medios diarios oscilan entre 1,62 m y 1,80 m. La línea de trazo continuo muestra la altura media anual de la marea que para el año 2002 fue de 2,67 m. El valor medio de las pleamares para el año 2002 fue de 4,16 m y la media de las bajamares fue de 0,56 m.

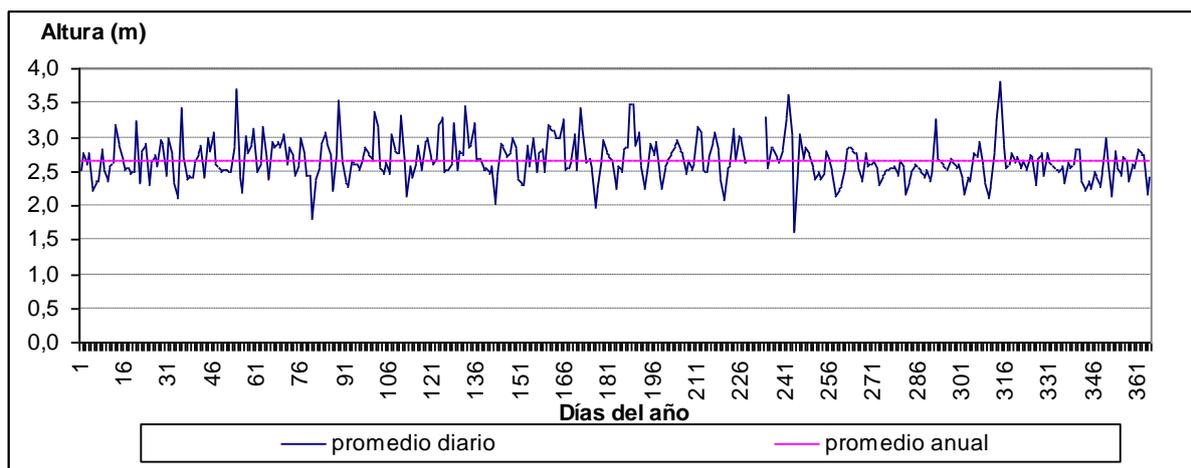


Figura 6.6. Promedios diarios de altura marea en Ingeniero White. Año 2002.

La figura 6.7 presenta los promedios mensuales de altura marea para el año 2002. La línea de trazo continuo color magenta muestra el valor medio anual. Se observa que los meses de febrero a agosto superaron el valor medio y los meses de setiembre, octubre diciembre y enero estuvieron por debajo del mismo.

El valor medio más bajo fue el de octubre con 2,52 m y el valor medio más alto fue el de agosto con 2,85 m. La tabla 6.1 presenta los valores medios mensuales y las máximas absolutas y mínimas absolutas mensuales para el año 2002. El valor máximo registrado es de 5,38 m que fue alcanzado el 10 de noviembre, fecha en que hubo un evento de inundación en Ingeniero White originado por una Sudestada que fue analizada en el capítulo anterior.

Otro valor cercano al máximo fue el registrado el 23 de febrero que alcanzó 5,34 m. La mínima absoluta fue de -0,64 m registrada el 1 de setiembre. El segundo valor mínimo fue de -0,52 m del 12 de noviembre. Los valores máximos y mínimos de altura marea no se correspondieron con mareas de sicigias.

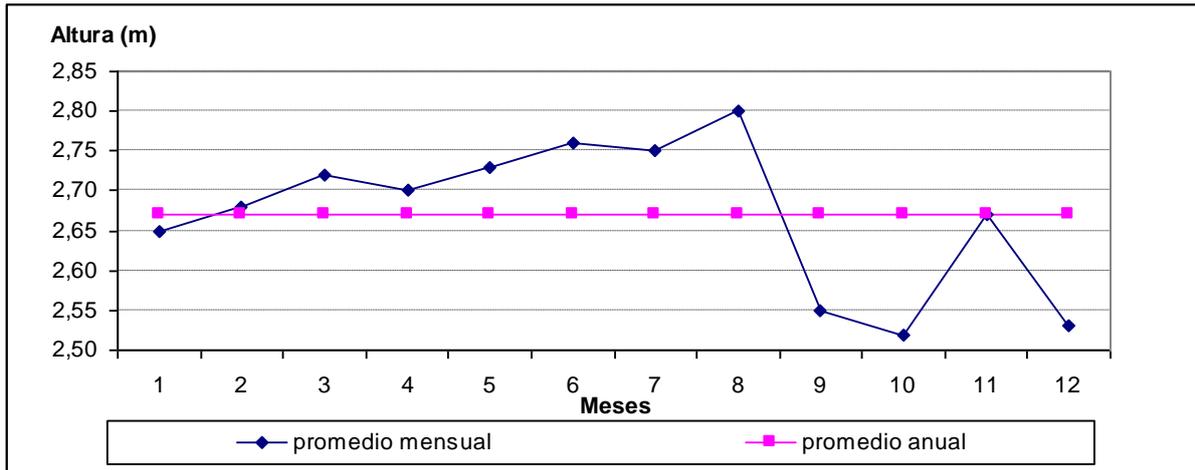


Figura 6.7. Valores mensuales de altura de marea en Ingeniero White. Año 2002.

Mes	Media mensual (m)	Máxima absoluta (m)	Mínima absoluta (m)	Amplitud (m)
Enero	2,65	5,03	- 0,21	5,24
Febrero	2,68	5,34	- 0,18	5,52
Marzo	2,72	4,85	- 0,42	5,27
Abril	2,7	4,86	- 0,15	5,01
Mayo	2,73	5,08	- 0,09	5,17
Junio	2,76	5,1	- 0,29	5,39
Julio	2,75	5,03	0,03	5,00
Agosto	2,8	4,85	0	4,85
Setiembre	2,55	4,77	- 0,64	5,41
Octubre	2,52	4,71	- 0,18	4,89
Noviembre	2,67	5,38	- 0,52	5,90
Diciembre	2,53	4,57	- 0,36	4,93
Año	2,67	5,38	- 0,64	6,02

Tabla 6.1. Alturas de marea. Año 2002

Las diferencias estacionales de la marea se pueden analizar en las curvas de distribución de los meses. En los meses de verano, los registros muestran alturas medias de marea cercanas o menores de la media. Los meses de otoño e invierno son los meses cuya media superó el valor medio anual. La primavera, al igual que el verano, presentó valores medios menores a la media anual. La amplitud calculada dio un valor promedio de 6,02 m.

En la figura 6.8 se observan los valores diarios de máxima y mínima altura de marea y el cálculo de su amplitud para el año 2002. Los meses así estudiados, donde no se trabajó con valores medios, permitió visualizar los eventos que superaron los valores de la media de ese año alcanzaron en varias oportunidades los 5 m. No se contó con información entre los

días 17 y 21 de agosto ya que el mareógrafo no reportó datos, la figura 6.8 muestra el corte en la representación de los mismos.

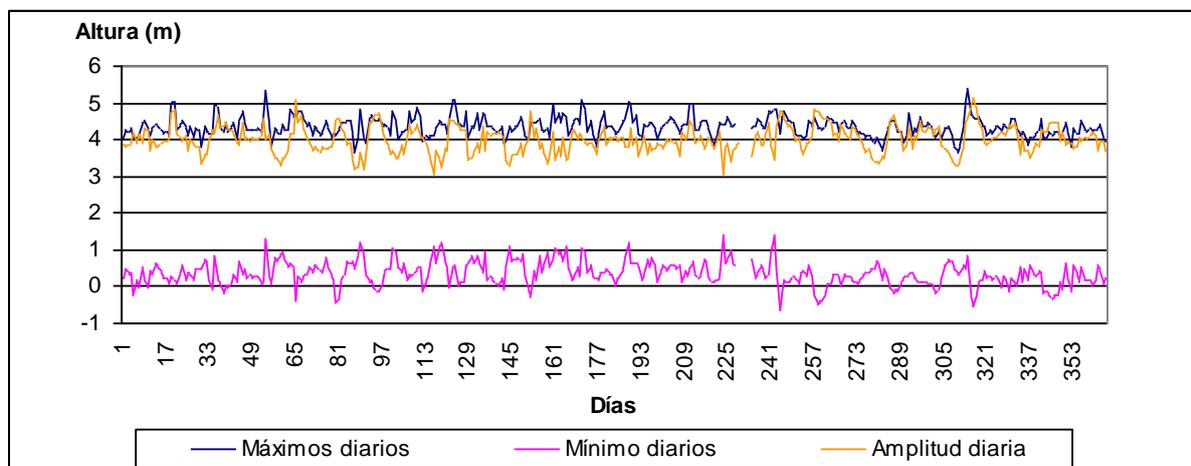


Figura 6.8. Valores diarios de máxima y mínima altura de marea y amplitud de marea. Año 2002.

En las figuras 6.9, 6.10 y 6.11 se muestran a modo de ejemplo, el registro mensual de altura de marea para los meses de enero, febrero y mayo. Se eligió representar estos meses por ser meses que muestran registros máximos y mínimos próximos a la media. La línea de trazo continuo en color magenta, marca la media de 2,67 m para el año 2002. Si bien se estudió todo el año 2002 no se acompañan aquí los gráficos de todos los meses.

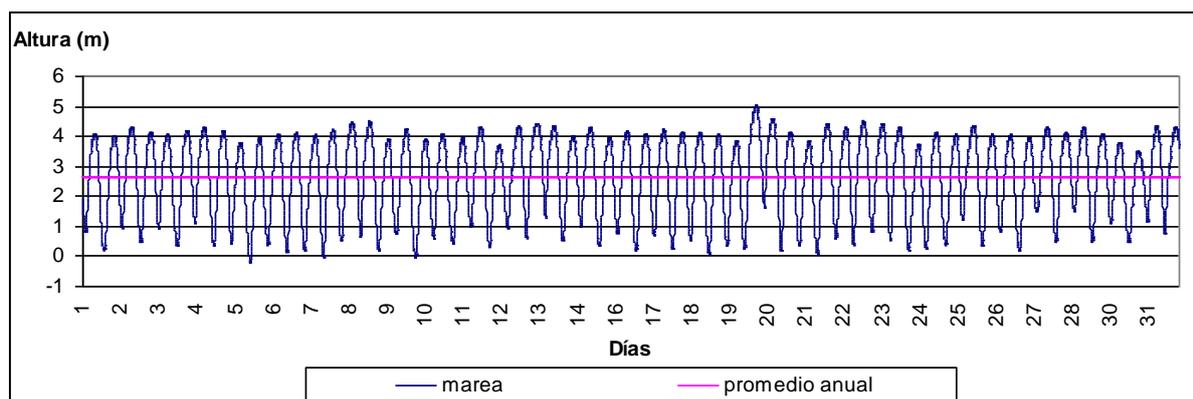


Figura 6.9. Marea del mes de enero. Año 2002.

La información de la marea real observada muestra, a través de las figura 6.9, 6.10 y 6.11, la variabilidad de los valores alcanzados a lo largo de los tres meses de ejemplo. Este

fenómeno se repite en todo el año estudiado. Las máximas alturas de marea resultaron superiores a los valores medios máximos.

La figura 6.9 permite observar que el mes de enero superó los 5 m en una oportunidad y alcanzó un valor menor al plano de reducción también en una ocasión. En la figura 6.10 el mes de febrero presentó dos sucesos con altura de marea por debajo del plano de reducción y sólo un evento en que la marea superó los 5 m. El mes de mayo registró tres eventos de altura de marea por debajo del plano de reducción y sólo un evento que superó los 5 m (Fig. 6.11).

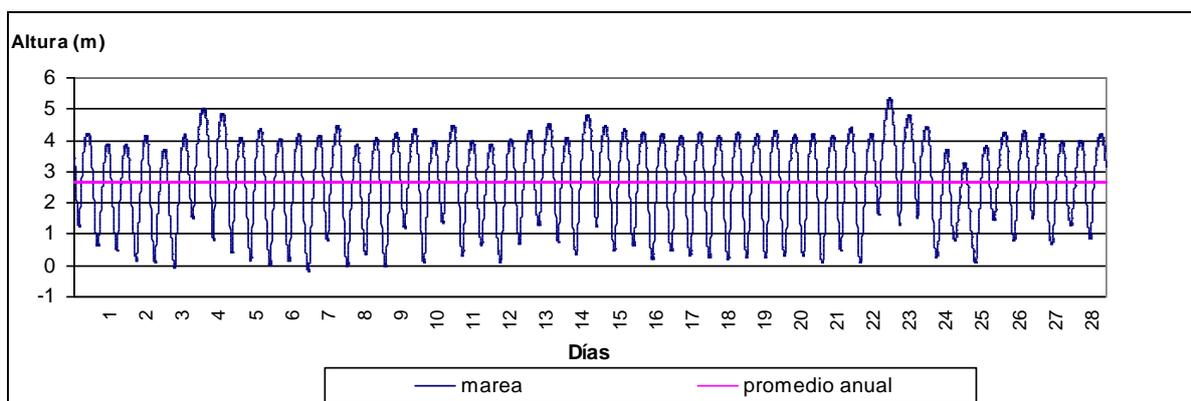


Figura 6.10. Marea del mes de febrero. Año 2002.

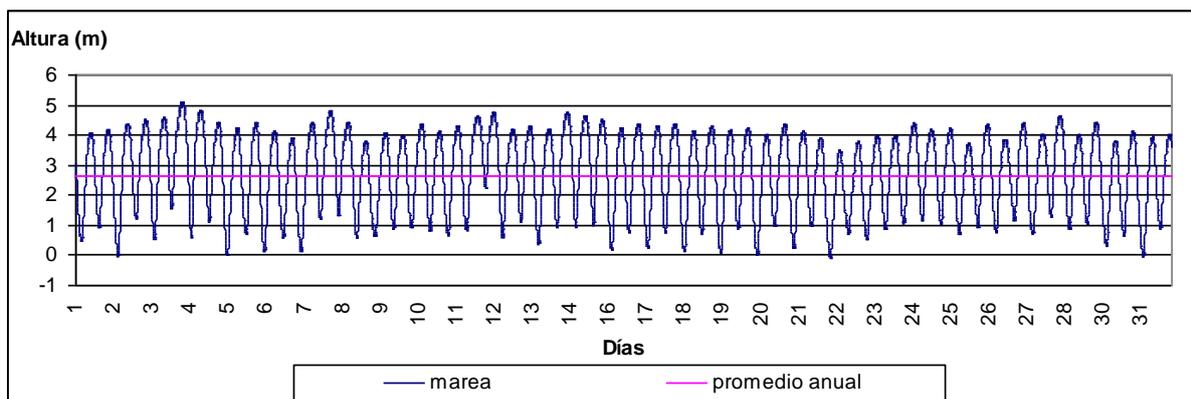


Figura 6.11. Marea del mes de mayo. Año 2002.

6.6. Pronóstico de marea. Influencia de los vientos

Es importante conocer la altura de la marea en las distintas costas y su momento de ocurrencia por lo que existen tablas de marea o valores que pronostican la altura de la marea en distintos puertos patronos. Estos valores no incluyen los efectos de las acciones meteorológicas que pueden llegar a ser significativos. Existen muchas veces diferencias apreciables entre la marea real y la pronosticada. En el litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires, en ocasiones de grandes temporales se manifiestan muy frecuentemente perturbaciones que afectan a las alturas de marea tabuladas.

Las predicciones de marea para los puertos argentinos se obtienen a través del método armónico, en el que se representa a la marea como una suma de ondas. Se utilizan series de observaciones de marea obtenidas por el SHN y se calculan las amplitudes y fases de la marea (constantes armónicas) mediante análisis armónicos (SHN, 2000).

Cuando los registros de marea se comparan con las predicciones de marea astronómica se encuentran diferencias importantes tanto en amplitud como en fase. Ellas se atribuyen a una fuerte influencia del viento sobre la región, donde los vientos predominantes son del Noroeste y del Norte con velocidades promedio de 24 km/h y ráfagas de hasta 100 km/h (Piccolo, 1987; Palma, 1995). Sumado a los vientos predominantes, la geomorfología del área juega un papel importante en la modificación de la altura de la marea (Perillo y Piccolo, 1991). La compleja geometría del estuario y los vientos predominantes producen por lo tanto, desviaciones de la marea real con respecto a la marea pronosticada, alcanzando diferencias de hasta 4 m en la zona interior del estuario y 2 m en la exterior (Piccolo y Perillo, 1997).

Perillo y Piccolo (1991) estudiaron la incidencia de los distintos vientos que actúan en el estuario de Bahía Blanca y su influencia en la marea. Los vientos provenientes del Suroeste y Sureste son los que provocan la elevación de la misma en el puerto Ingeniero White. Hacen un análisis del azimut del Canal Principal en Ingeniero White (129 grados) con la dirección del viento, durante la baja y alta marea, indicando que con vientos del Sur la altura de la marea se incrementa y con los vientos del Norte disminuye. Con vientos del Sureste, sólo la mitad de las veces la altura de marea se incrementa.

A modo de ejemplo se presentan en las figuras 6.12 y 6.13 las diferencias entre la marea real y la marea pronosticada correspondientes a los meses enero y febrero de 2002. Se eligieron estos meses por mostrar un patrón similar a los valores medios. El promedio de

las fluctuaciones para ese año fue de 0,01 m y los valores máximos y mínimos fueron 2,07 m para el 10 noviembre y $-1,5$ m para el 17 de setiembre. La fecha 10 de noviembre fue analizada como evento de Sudestada en el capítulo anterior, la altura de marea se mantuvo con los valores de pleamar y no descendió en ese día.

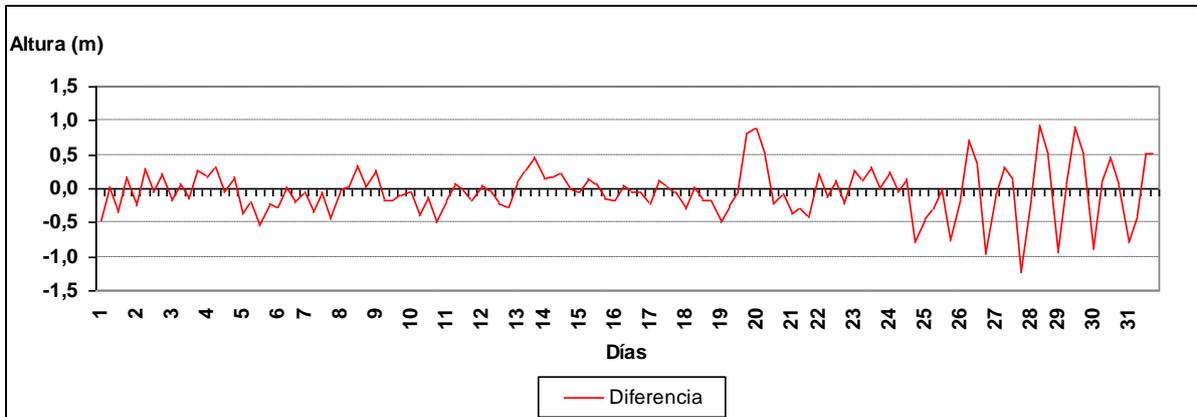


Figura 6.12. Fluctuaciones de la marea real y pronosticada. Enero 2002.

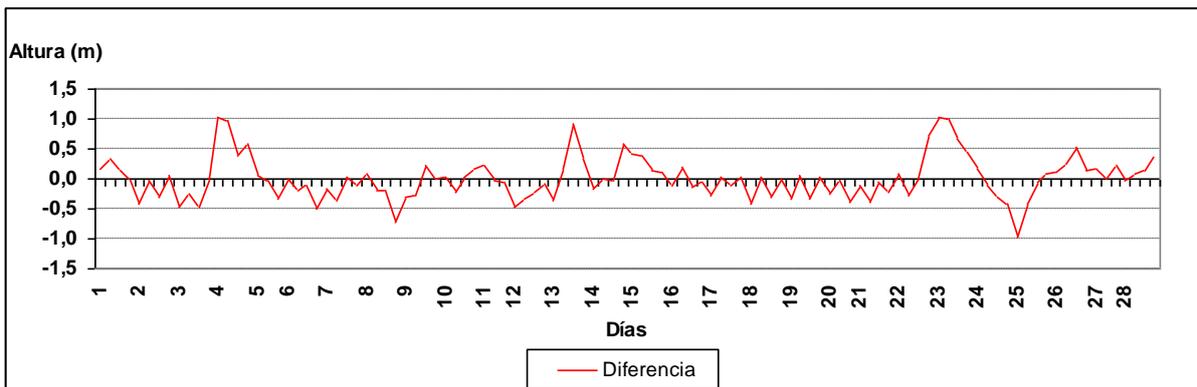


Figura 6.13. Fluctuaciones de la marea real y pronosticada. Febrero 2002.

Se analizaron las variaciones meteorológicas como una de las influencias aperiódicas en la distribución de la marea. Estas influencias pueden alterar fuertemente el régimen de mareas, siendo la intensidad y dirección del viento y la presión atmosférica dos de los factores que provocan esta diferencia entre mareas pronosticadas y mareas reales (Campo de Ferreras, 1999).

Para estudiar la relación entre los valores máximos y mínimos de altura de marea con velocidades medias del viento se eligieron meses del año 2006 por existir información de la estación meteorológica de Ingeniero White para ese año. Se eligió representar los

meses de enero, febrero, agosto y diciembre ya que se contaba con datos de altura de marea para todos los días de esos meses y no así para el resto. El mes de julio se analizó por existir una tormenta el día 29.

En la figura 6.14 se presenta el valor medio de altura de marea y la velocidad media del viento durante el mes de enero de 2006. Los días 16 y 20 del mes de enero muestran un incremento en la velocidad media del viento que se ve reflejado en los cambios de los valores medios de la altura de marea. La dirección predominante del viento para esas fechas fue del Suroeste y Sureste respectivamente.

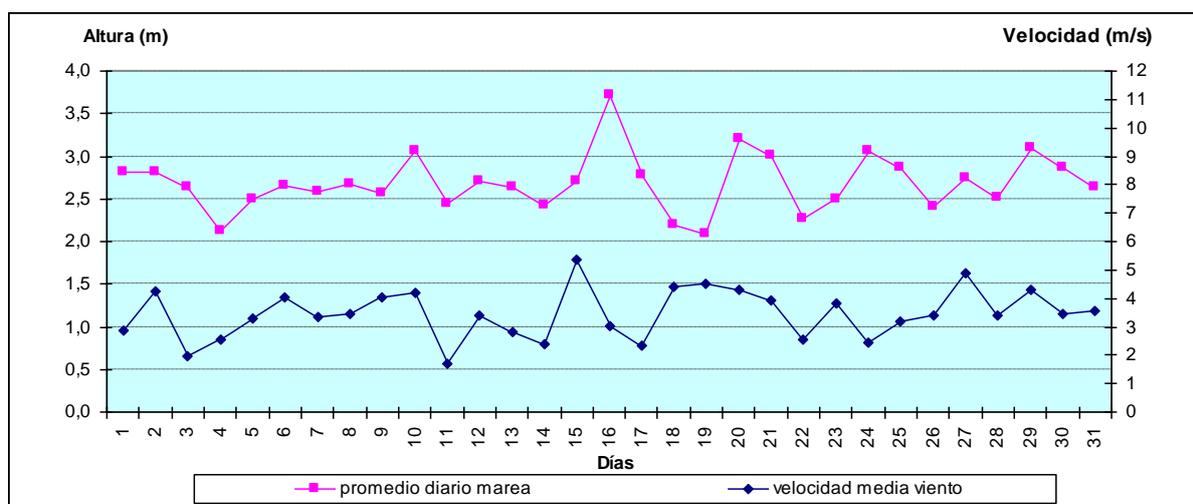


Figura 6.14. Velocidad media del viento y altura media de marea. Enero 2006.

En la figura 6.15 se observan los valores de altura de marea real para el mes de enero de 2006 y la gráfica del promedio mensual en línea de trazo continuo (2,69 m). En la tabla 6.2 se presentan los parámetros meteorológicos diarios registrados en la estación meteorológica de Ingeniero White, durante ese mes. Los días 16 y 20 (Fig. 6.14) la pleamar alcanzó niveles importantes, con un valor de 4,68 m y 4,88 m respectivamente siendo este último el máximo valor de ese mes. La tabla 6.2 muestra que los vientos dominantes en esos días fueron del Suroeste y Sureste con ráfagas de 13,90 m/s en la primera fecha y de 8 m/s en la segunda fecha. La presión atmosférica fue baja en todo el mes con valores menores a la presión normal (1013 hPa) y se registraron escasos milímetros de lluvia.

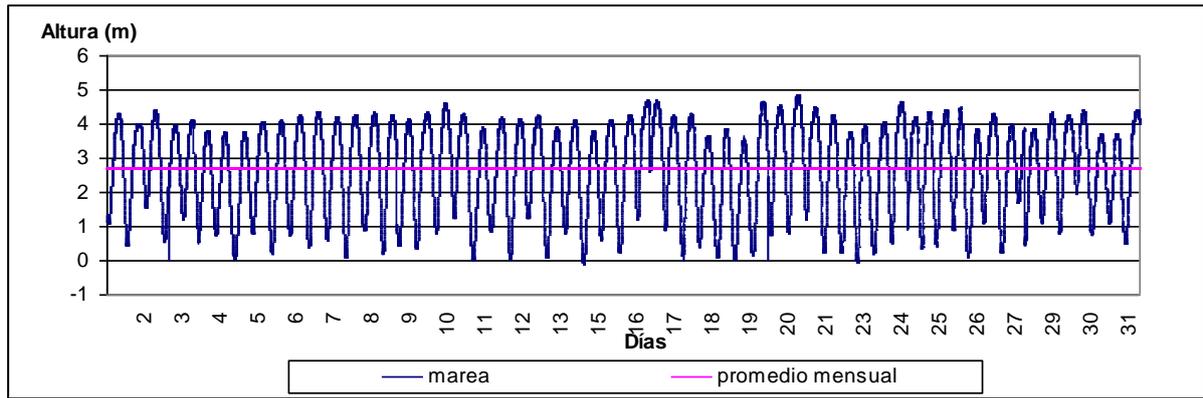


Figura 6.15. Altura de marea del mes de enero de 2006.

Día	Temperatura Media (°C)	Humedad (%)	Presión At. (hPa)	Viento (m/s)			Lluvia (mm)
				Vel	Dir. Pred.	Ráf.máx.	
1	27,5	47	998,2	2,41	ONO	8,9	0
2	28,8	51	994,4	3,38	N	10,7	0
3	21,1	60	1006,1	5,94	SE	16,5	0
4	20	65	1013,2	1,65	NE	6,7	0
5	27,4	54	1005,3	3,04	N	10,7	0
6	27,2	50	997,4	4,85	N	19,2	0,4
7	27,3	53	993,8	3,53	N	9,8	0
8	28,8	40	994,2	2,84	NO	9,4	0
9	28,8	38	990,6	2,97	N	14,8	0,2
10	20,7	41	996,7	6,57	N	15,2	0
11	18,2	53	1005,9	2,95	ONO	11,2	0
12	25	41	1001,7	4,24	N	12,5	0
13	29,4	36	999,6	5,24	N	14,3	0
14	30,5	49	1001,7	2,79	N	10,7	0
15	27,7	71	997,7	5,2	N	13	0
16	19,6	60	1004	4,45	SO	13,9	0
17	25,1	40	996,6	3,84	N	16,5	0
18	19,9	58	1004,7	5,95	SE	11,6	0
19	20,8	49	1006,9	1,93	SE	7,6	0
20	22,2	48	1003,5	2,29	SE	8	0
21	26,7	50	1000,8	3,05	N	13	0
22	22,9	54	1008,7	2,2	N	9,4	0,2
23	23,5	61	1010,5	1,9	NE	8,9	0,2
24	24,5	63	1008,6	2,01	NNE	12,1	2,8
25	22,9	70	1007,6	1,48	NE	8,5	3,2
26	22,1	75	1008,7	1,71	NNE	7,6	2,6
27	22,9	78	1008,3	1,11	ONO	7,2	0
28	21,4	78	1007,8	2,71	SE	8,9	0
29	19,6	84	1011,1	6,09	SSE	11,6	0,6
30	20,6	83	1009	2,31	SSE	7,2	0
31	25	75	1001,8	2,29	N	7,6	0

Tabla 6.2. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, enero 2006.

En la figura 6.16 se presenta el valor medio de altura de marea y la velocidad media del viento durante el mes de febrero de 2006. La dirección predominante del viento el día 3 fue del cuadrante Sureste con ráfagas de 12,1 m/s. El día 6 la dirección predominante fue del cuadrante Sureste con ráfagas de 11,6 m/s. Las ráfagas predominantes el día 16 fueron del cuadrante Norte con valores de 13,9 m/s. El día 23 las ráfagas alcanzaron valores de 15,2 m/s y provenían del cuadrante Sureste. El viento proveniente de este cuadrante provocó en cada caso un incremento en la altura de la marea, no así el proveniente del cuadrante Norte.

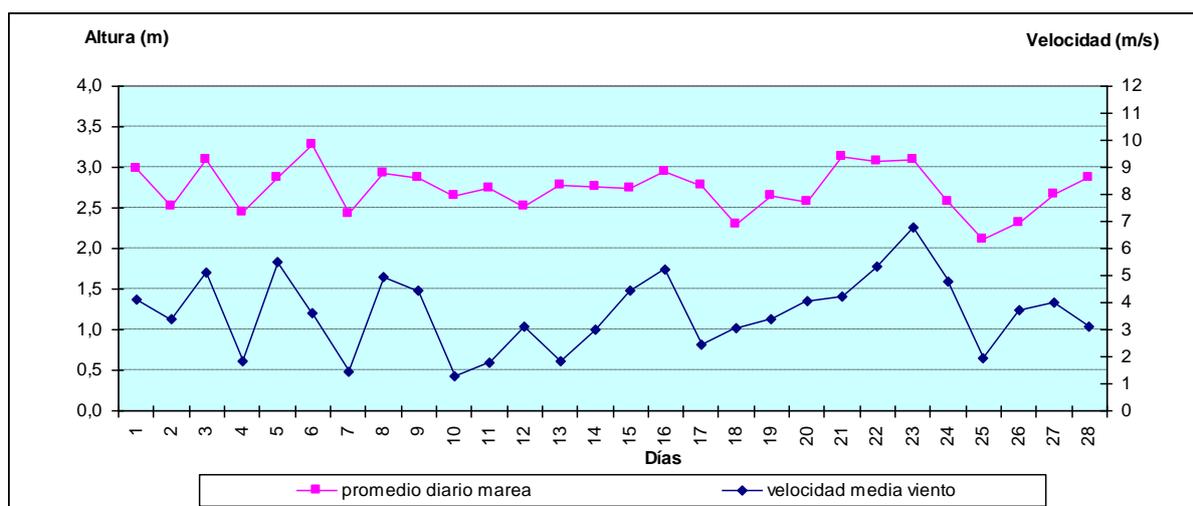


Figura 6.16. Velocidad media del viento y altura media de marea. Febrero 2006.

La figura 6.17 presenta los valores de altura de marea real para el mes de febrero de 2006 y la gráfica del promedio mensual en línea de trazo continuo (2,69 m). Este mes presentó una altura media de marea de 2,73 m, un valor máximo de 4,92 m para el día 6 y un valor mínimo de -0,20 para el día 10.

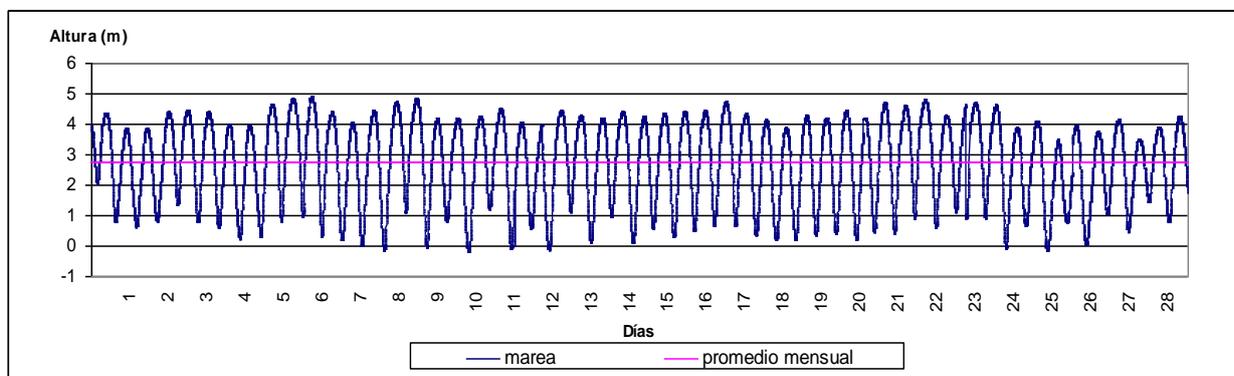


Figura 6.17. Altura de marea del mes de febrero de 2006.

La información meteorológica diaria del mes de febrero se presenta en la tabla 6.3. Los vientos en el momento de la máxima pleamar del mes provenían del cuadrante Sureste. El día 23 de este mes las ráfagas del cuadrante Sureste alcanzaron los 15,2 m/s con lluvias que llegaron a los 44,8 mm, provocando un incremento en la altura de la marea (Fig. 6.17). La temperatura media descendió a 13,1 °C y la presión atmosférica alcanzó los 1007,9 hPa.

Día	Temperatura Media (°C)	Humedad (%)	Presión At. (hPa)	Viento (m/seg)			Lluvia (mm)
				Vel	Dir. Pred.	Ráf.máx.	
1	21	59	1006	4,13	ESE	11,2	0
2	23,2	56	1000,5	3,38	N	12,1	0
3	20,1	67	1004,2	5,09	SE	12,1	0
4	22	69	997,9	1,84	E	8	17,8
5	21,3	59	996,4	5,49	SO	16,1	0
6	17,8	59	1004,9	3,62	SE	11,6	0
7	19,3	60	1002,2	1,44	NE	5,8	0
8	16,6	66	1005,9	4,94	SSO	12,5	4,6
9	13,4	74	1014,7	4,42	SO	9,4	0
10	13,5	65	1014,6	1,29	NE	5,4	0
11	20,3	65	1009,4	1,76	ONO	5,8	0
12	24,3	59	1006	3,12	N	11,6	0
13	23,4	60	1006,6	1,84	SE	7,2	0
14	28,5	49	1001,6	3,01	N	8,5	0
15	29,3	46	997,3	4,44	N	11,6	0
16	25,8	51	998	5,23	N	13,9	0
17	23,4	54	1004,1	2,45	E	10,3	0
18	27	43	1001,5	3,08	NNE	8,9	0
19	25,3	48	1001,4	3,38	NNE	13	0
20	25,7	45	999	4,05	NNE	13,4	0
21	22,7	57	998	4,21	SSE	17,9	1
22	19	75	1001,8	5,35	SE	13	0,4
23	13,1	85	1007,9	6,79	SE	15,2	44,8
24	14,1	79	1013,5	4,77	SSO	12,1	0
25	16,5	75	1007,4	1,94	NNE	7,2	0
26	16,3	72	999,7	3,71	NNE	13,9	6,2
27	14,5	67	1002,6	3,99	NO	10,7	0,2
28	15,4	59	1002,2	3,11	N	9,4	0

Tabla 6.3. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, febrero 2006.

La figura 6.18 presenta la velocidad media del viento y altura media de marea para el mes de abril de 2006. La dirección predominante del viento para el día 14 fue del cuadrante Suroeste con ráfagas de 14,3 m/s que provocaron un aumento en la altura de la marea. Las ráfagas predominantes durante los días 18 y 19 fueron provenientes del cuadrante Norte con valores de 14,8 m/s y 18,3 m/s, que no modificaron la altura de la marea.

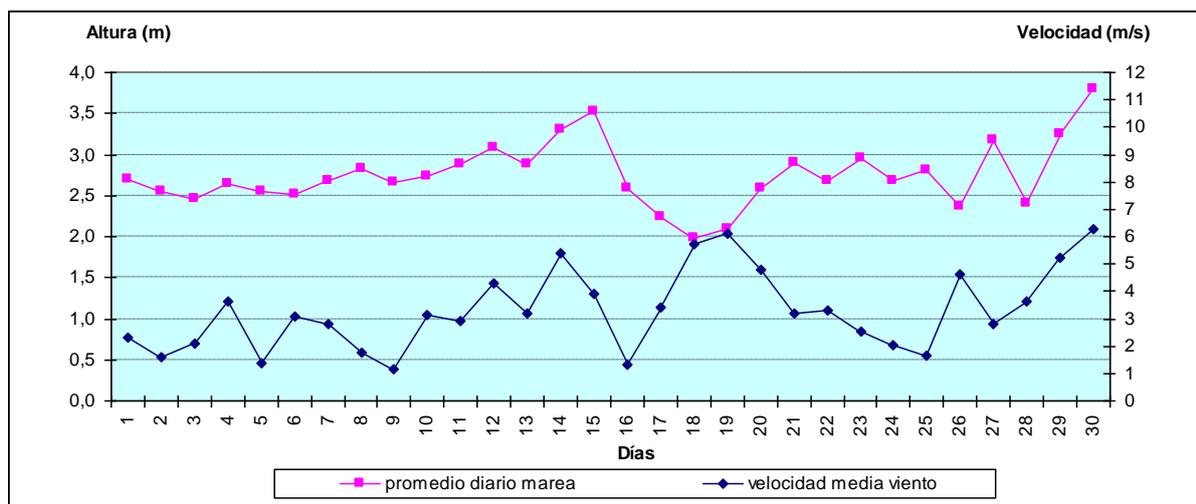


Figura 6.18. Velocidad media del viento y altura media de marea. Abril 2006.

La figura 6.19 presenta los valores de altura de marea real para el mes de abril de 2006 y la gráfica del promedio mensual en línea de trazo continuo (2,74 m). El día 14 la altura de la marea alcanzó el valor máximo para ese mes (4,90 m). El valor mínimo de altura de marea correspondió al día 4 (-0,20 m). El día 18 la pleamar alcanzó un valor de 3,80 m.

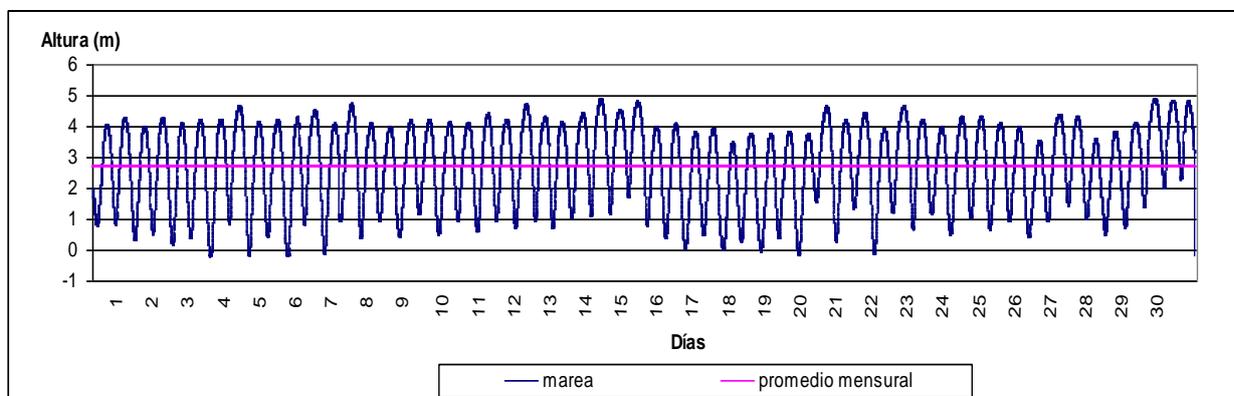


Figura 6.19. Altura de marea del mes de abril de 2006.

La tabla 6.4 presenta la información meteorológica diaria para el mes de abril de 2006. De ella se extrajo la información sobre los vientos predominantes y los valores de las ráfagas máximas para este mes.

Día	Temperatura Media (°C)	Humedad (%)	Presión At. (hPa)	Viento (m/s)			Lluvia (mm)
				Vel	Dir. Pred.	Ráf.máx.	
1	22,2	62	1010,9	2,32	NNE	7,6	0
2	18,9	60	1010,5	1,59	NNE	6,7	0
3	17,1	64	1006,2	2,11	NNE	8	0,2
4	15,3	70	1004,9	3,63	SE	8	0
5	14,1	65	1009,1	1,36	NE	6,7	0
6	16,3	64	1007,1	3,08	N	8,5	0
7	20,6	64	1004,7	2,79	NNE	7,6	0
8	20	65	1006,9	1,76	ONO	7,6	0
9	18,7	67	1005,6	1,15	N	4,9	0
10	21,1	65	1001,2	3,14	N	9,8	0
11	21,9	64	998,39	2,9	N	8	0
12	14,3	73	1002,1	4,28	SE	17,4	21
13	12,3	80	1003,1	3,18	OSO	12,1	1
14	7,6	81	1011,2	5,38	SO	14,3	0,4
15	9,3	73	1020	3,93	SSO	11,2	0
16	9,9	69	1026,7	1,34	O	5,8	0
17	13,5	65	1019	3,43	NNE	11,2	0
18	15,2	62	1005,7	5,72	N	14,8	0
19	17,8	61	996,6	6,13	N	18,3	0
20	14,9	56	1001,6	4,81	NO	13,4	0
21	10,9	58	1008,6	3,21	NO	8	0
22	14,2	57	1001,7	3,31	N	11,6	0
23	13,5	57	1005,3	2,51	N	7,6	0
24	14,7	54	1002,1	2,03	ONO	7,6	0
25	14,3	68	1010,4	1,68	SSO	5,4	0
26	18,5	65	1006,2	4,63	N	13,4	0
27	18,4	62	1007,7	2,83	SE	9,4	0
28	19,3	67	1002,3	3,66	NNE	13,9	0
29	12,3	60	1013,1	5,26	OSO	12,1	0
30	10,1	69	1018,4	6,3	ONO	18,8	0

Tabla 6.4. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, abril 2006.

La figura 6.20 presenta los valores de velocidad media del viento y altura media de marea para el mes de diciembre de 2006. La dirección predominante del viento para el día 2 fue del cuadrante Sur - Suroeste con ráfagas de 15,2 m/s que provocaron un aumento en la altura de la marea. Las ráfagas predominantes durante el día 14 fueron provenientes del cuadrante Sur - Sureste con ráfagas de 13,4 m/s que provocaron incremento en la altura de la marea. El día 21 la dirección predominante del viento fue del Oeste (ráfagas de 17,4 m/s) y el día 26 del Norte (ráfagas de 16,1 m/s) que no modificaron la altura de la marea.

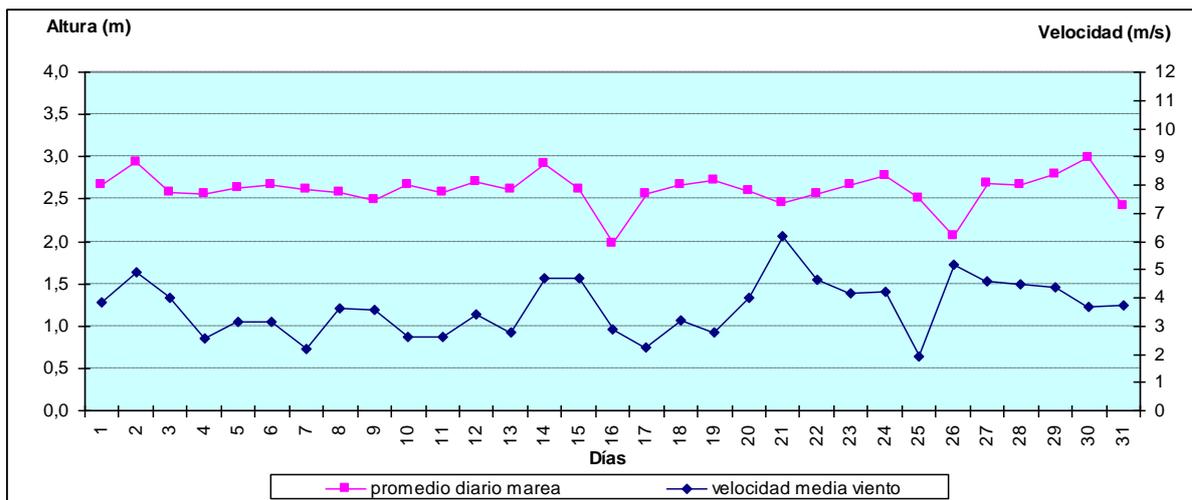


Figura 6.20. Velocidad media del viento y altura media de marea. Diciembre 2006.

La figura 6.21 presenta la altura de marea para el mes de diciembre de 2006. El promedio mensual de marea en línea de trazo continuo fue de 2,61 m con máximo valor de marea alcanzado el día 30 de 4,81 m y un mínimo de $-0,09$ m el día 26. Se acompaña la tabla 6.5 con los parámetros meteorológicos que fueron empleados en el análisis del párrafo anterior.

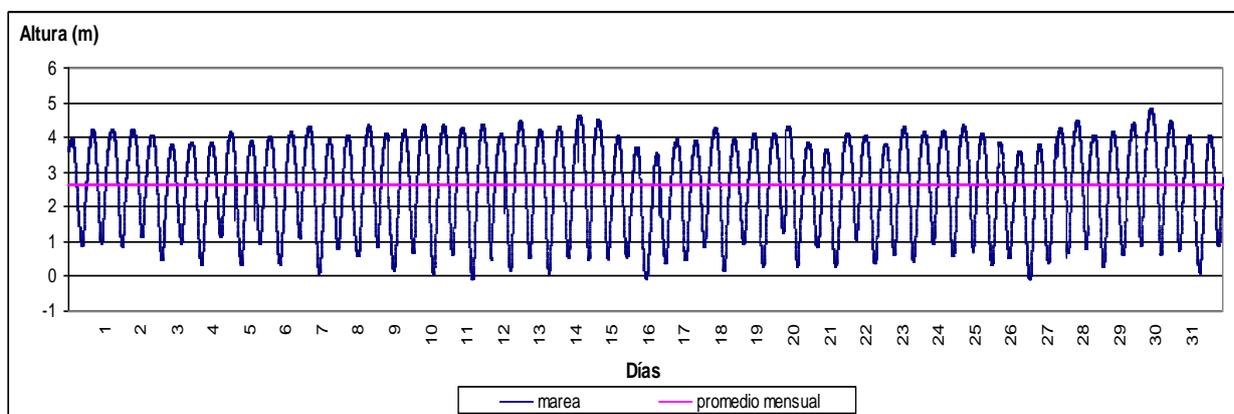


Figura 6.21. Altura de marea del mes de diciembre de 2006.

Día	Temperatura Media (°C)	Humedad (%)	Presión At. (hPa)	Viento (m/s)			Lluvia (mm)
				Vel	Dir. Pred.	Ráf.máx.	
1	24,7	58	996,7	3,85	SE	14,3	0
2	18,5	72	1003	4,93	SSO	15,2	0
3	18	63	1008,7	4	SO	10,3	0
4	23,8	38	1005,1	2,54	ENE	10,3	0
5	27,1	39	1003,4	3,14	NNE	17,4	4,2
6	22,2	55	1004	3,15	N	11,2	9
7	22,1	64	1002	2,19	E	17,9	12,6
8	20,5	65	999,3	3,63	ESE	12,5	2
9	23	61	1000,5	3,57	ONO	9,8	0
10	24,4	54	1001,4	2,6	E	9,8	0
11	27	49	1000,4	2,6	E	10,3	0
12	26,3	48	999,8	3,4	ONO	12,5	0
13	23,7	50	998,7	2,75	E	20,1	4,6
14	19,9	57	1002,8	4,71	SSE	13,4	0
15	19,9	57	1002,8	4,71	SSE	13,4	0
16	23,4	58	997,2	2,87	NNE	12,5	5,8
17	23,8	55	998,8	2,25	ONO	7,6	0
18	23,6	53	998,8	3,19	ONO	11,2	4
19	23,4	49	996,4	2,76	SE	10,7	0
20	21,3	52	999,8	4,03	N	10,7	0
21	21,5	43	997,9	6,18	O	17,4	0
22	25,7	42	997	4,63	NO	12,5	0
23	24,4	45	996,4	4,17	ONO	11,6	0
24	20,9	48	999,8	4,21	SE	9,4	0
25	22,1	53	1003,2	1,92	SSO	9,4	0
26	27	43	997,6	5,15	N	16,1	3,2
27	21,8	45	1002,4	4,61	O	13,9	0,8
28	25,4	40	1003,1	4,5	N	12,1	0
29	25,9	50	1000,6	4,4	ONO	13,4	0
30	24,6	45	1007,2	3,67	ESE	10,3	0
31	23,2	52	1000,8	3,68	ONO	20,1	46,2

Tabla 6.5. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, diciembre 2006.

El mismo análisis se repitió para los últimos veinte días del mes de julio de 2006. Como ya se explicó, no se contó con información para todo el mes. La figura 6.22 presenta la velocidad media del viento y altura media de marea para este mes. El incremento de la altura de marea del día 28 se explica con los valores de ráfagas de viento de 20,1 m/s con vientos predominantes del cuadrante Suroeste y velocidades medias de 10,1 m/s. Desde el día 16 hasta el día 24 el viento predominante fue del cuadrante Norte, con escasa influencia en la altura de marea que se mantuvo casi constante. La tabla 6.6 transcribe los parámetros meteorológicos diarios.

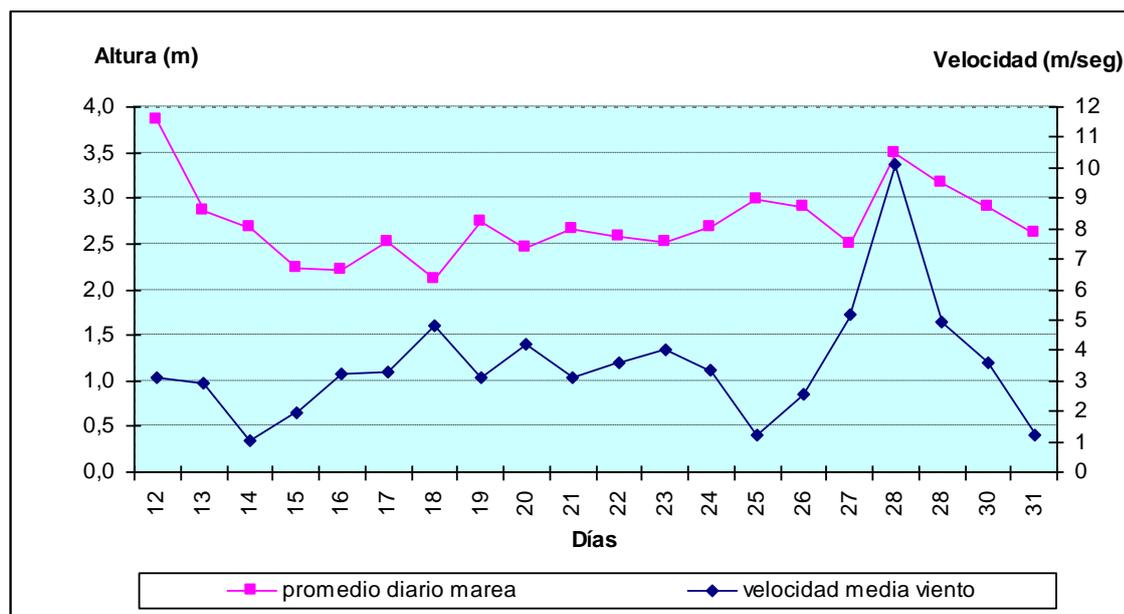


Figura 6.22. Velocidad media del viento y altura media de marea. Días 12 al 31 de julio de 2006.

La figura 6.23 presenta la altura de marea real para estos días de julio de 2006. El promedio mensual de marea en línea de trazo continuo fue de 2,70 m y el valor máximo de 5,26 m para el día 28 a las 22:30 h. El otro valor de la pleamar para ese día fue de 5,02 m a las 11:30 h.

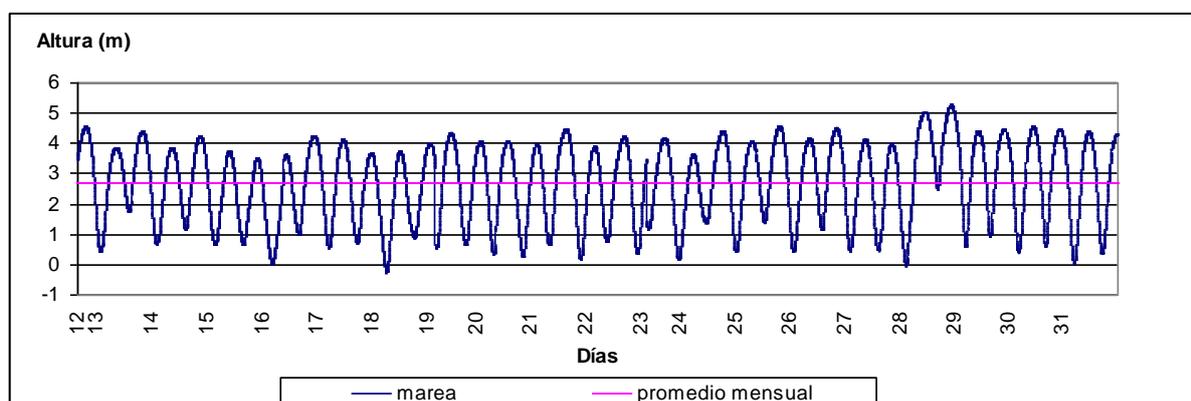


Figura 6.23. Altura de marea del 12 al 31 de julio. Año 2006.

Se comprueba que hubo registros de lluvia para el día 28, presión atmosférica normal y baja temperatura media, lo que muestra un cuadro general de tormenta. Analizando el detalle de los datos de la estación meteorológica, se observó que los vientos en los dos momentos de pleamar provenían del cuadrante Suroeste (Tabla 6.6).

Día	Temperatura Media (°C)	Humedad (%)	Presión At. (hPa)	Viento (m/s)			Lluvia (mm)
				Vel	Dir. Pred.	Ráf.máx.	
1	12,8	76	1014,2	2,38	NNE	10,7	0
2	17,6	76	1009,1	4,84	N	13	0
3	13,3	70	1012,3	2,18	NO	7,6	0
4	12	63	1014,6	1,7	NO	5,8	0
5	9,7	67	1012,8	0,42	NE	3,1	0
6	16,9	75	1004,4	1,65	NNE	8,9	0
7	14,4	78	998,8	2,18	NNE	13,9	8,4
8	10,2	80	1005	3,21	NO	9,8	0
9	8,7	73	1006,5	4,74	NO	12,1	0
10	11,5	69	1003	3,31	N	13,4	0
11	15,5	68	992,7	4,39	N	14,8	0
12	10,1	70	1002,4	3,14	ONO	8,9	2
13	7,4	67	1019,7	2,9	N	10,7	0
14	4,9	71	1030,8	1,06	NE	4,9	0
15	7,4	63	1024,2	1,96	NE	11,2	0
16	12,3	72	1014,4	3,23	N	13	0
17	12,4	76	1011,2	3,31	N	11,2	0
18	14,5	69	1005,5	4,78	N	14,8	0
19	11,1	58	1010,3	3,13	N	9,8	0
20	15,2	51	1000,6	4,21	N	10,3	0
21	12	53	1005,5	3,12	NO	8,9	0,4
22	10	65	1003,9	3,6	Calma	11,6	2,6
23	8,6	57	1010,5	4	N	10,7	0
24	12	48	1007,5	3,33	N	10,3	0
25	11,2	61	1003,5	1,24	SE	5,4	0
26	10,8	78	1004,3	2,56	SE	12,5	11,4
27	9,1	82	1002,6	5,17	ONO	17,9	3,4
28	7,1	87	1013,2	10,1	SO	20,1	8,8
29	4,5	86	1028,7	4,96	OSO	9,8	0
30	4	85	1029,2	3,57	O	7,6	0
31	4,3	85	1027,5	1,21	O	4	0

Tabla 6.6. Parámetros meteorológicos diarios. Ingeniero White, julio 2006.

La prensa local explicó este fenómeno meteorológico a través de Satelmet, que informó que la mayor ráfaga de viento del Suroeste se registró cerca de las cuatro de la mañana marcando 105 km/h y que la más baja anotó 97 km/h. Desde la hora cero hasta mediatarde, se produjeron 17,4 mm de lluvia. La temperatura mínima fue a las 0:30 h, cuando se registró 5,5 °C. La explicación se centró en que a partir de la medianoche se gestó una ciclogénesis de una depresión frente a las costas de Monte Hermoso, fuerza que se profundizó toda la madrugada y se desplazó lentamente hacia el Este. Por detrás de esa depresión, ingresó un sistema de alta presión con muy bajas temperaturas, que produjo un marcado gradiente bórico y muy fuertes vientos sobre Bahía Blanca (La Nueva Provincia, 29 de julio de 2006).

Los desagües pluviales de Ingeniero White no presentaron inconvenientes durante este evento de tormenta, si bien funcionaron a pleno y la ciudad se mantuvo en alerta meteorológica, no se registraron situaciones de riesgo de inundación (La Nueva Provincia, 29 de julio de 2006).

Se comprueba una vez más que las variaciones de la altura de la marea se encuentran sujetas a la influencia de los vientos dependiendo de su dirección predominante. La velocidad de los vientos influye en los pronósticos de la altura de marea según de donde sea el cuadrante de donde provengan: vientos provenientes de los cuadrantes Suroeste, Sur y Sureste provocan un incremento en la altura de la marea y no así los provenientes del cuadrante Norte.

6.7. Máxima y mínima altura de marea desde 1915

El Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca suministró el detalle de los días en que se alcanzó la máxima y la mínima altura de marea en cada año, a partir del año 1915. Los datos fueron registrados hasta el año 1999 por el organismo estatal que actualmente se denomina Dirección Nacional de Vías Navegables. A partir de allí es el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca, el ente que registra esta información.

Algunos de los datos fueron tomados en la Base Naval Puerto Belgrano y fueron representados en la franja amarilla que abarca los años 1944 a 1960. Otros datos fueron tomados en puerto Galván y se encuentran diferenciados por la segunda franja amarilla que encierra los años 1990 a 1999. El resto de la información, corresponde al puerto Ingeniero White. Para el análisis siguiente sólo se utilizó la información proveniente de este puerto (Fig. 6.24).

La máxima altura de marea real registrada para el puerto de Ingeniero White fue de 6,28 m en abril de 1978 y la mínima fue de - 1,26 en mayo de 1929. El mes en que más veces se presentaron máximas alturas de marea fue enero con once eventos, seguido de abril con diez. Mayo y febrero fueron los meses que le siguieron en orden con 9 y 8 eventos respectivamente. Setiembre presentó un evento de máxima altura y noviembre dos eventos de máxima altura. Mayo fue el mes que registró más valores mínimos con once eventos seguido de julio en el que se observó ocho y junio que presentó siete. Los meses de enero y febrero fueron los meses que sólo presentaron dos eventos de mínimos. El promedio de los máximos fue de 5,05 m y el de los mínimos de - 0,84 m.

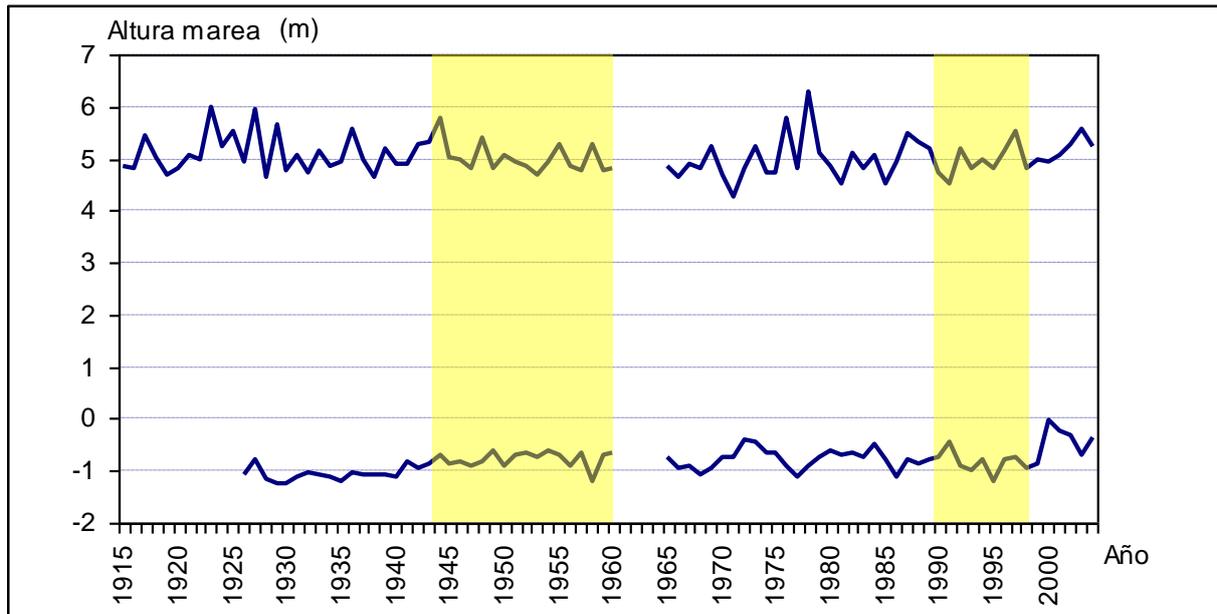


Figura 6.24. Máximas y mínimas alturas de marea para el período 1915 – 2002.
Fuente: Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca.

6.8. Análisis de eventos significativos

A lo largo de los años la prensa local reflejó distintos eventos de inundación que afectaron el área de estudio. Se efectuó un análisis de la altura de marea registrada en esos días y se graficaron los datos de la marea real observada. En todos los casos la altura de marea registrada superó los valores medios máximos.

Julio de 1996: El día 20 se registró una pleamar extraordinaria en Ingeniero White. Después de las 10 h comenzó a ingresar agua al casco urbano de la ciudad por las bocas de tormenta y sumideros. El viento Sur se mantuvo durante tanto tiempo que no permitió bajar la marea (La Nueva Provincia, 21 de julio de 1996). No hubo precipitaciones, sólo fuertes vientos del Sur. La altura alcanzada a las 11:30 h fue de 5,15 m y de 4,5 m a las 23 h. Ambos valores muy por encima del valor medio máximo (Fig. 6.25).

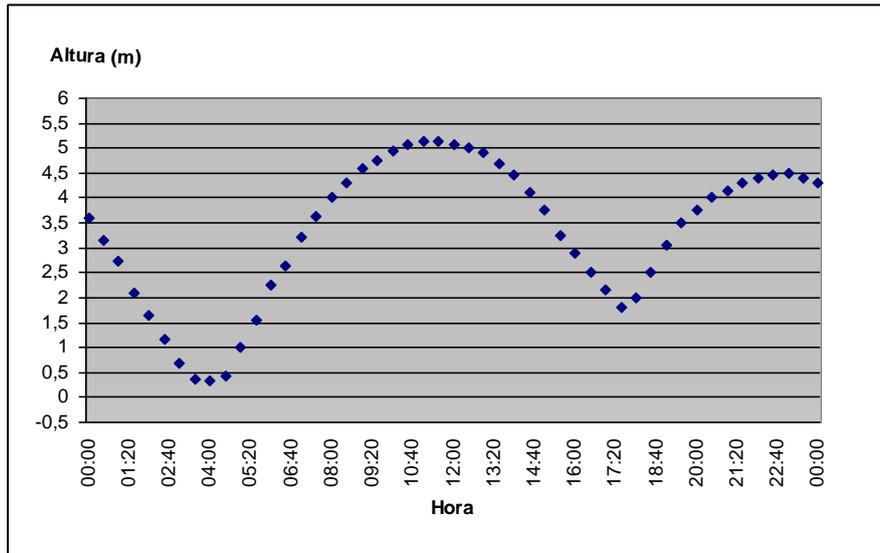


Figura 6.25. Altura de marea 20 de julio de 1996.

Abril de 1997: Los días 3 y 4 de este mes Ingeniero White registró una Sudestada con ráfagas de más de 50 km/h. Nuevamente se produjo el desborde del agua de mar por las bocas de tormenta (La Nueva Provincia, 4 de abril de 1997). La altura de marea alcanzó los 4,88 m en la primera pleamar de las 2:30 h y llegó a los 5,30 m a las 16:30 h del mismo día 3, en la segunda pleamar. No bajó lo suficiente en la bajamar de las 21:30 h y sólo llegó a una altura de 4,18 m. Allí inició nueva creciente hasta las 2:30 h del día 4. La marea comenzó a bajar a las 9:30 h del día 4 registrando una altura de bajamar de 1,78 m (Fig. 6.26).

En este ejemplo se observa que la pleamar se mantiene en alturas por encima de la media por varias horas y que la bajamar registrada alcanza la altura característica de pleamares. De entrevistas a personas del lugar surge la expresión de este hecho manifestada por los habitantes de Ingeniero White como: “*se juntaron las dos mareas*”. Esto se explica pues la bajamar registrada alcanza características de pleamar, pero es una expresión errónea ya que la altura de marea sigue con su natural y normal desplazamiento sinusoidal no juntándose nunca las dos mareas (La Nueva Provincia, 22 de agosto de 2009).

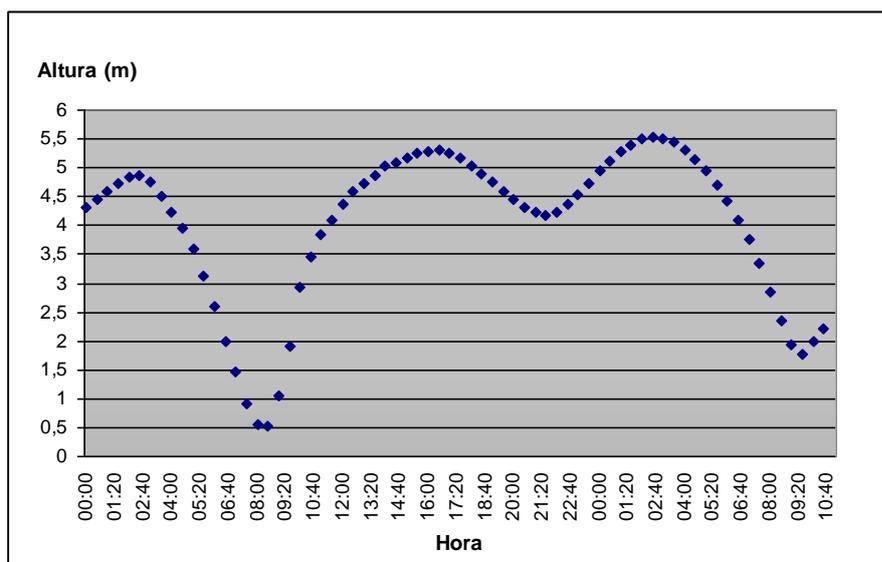


Figura 6.26. Altura de marea 3 y 4 de abril de 1997.

Abril y mayo de 2001: El 18 de abril y el 26 de mayo se produjeron fenómenos de fuertes precipitaciones en Ingeniero White. La altura de la marea alcanzó los 4,57 m a las 2:40 h de la primera pleamar del día 18 de abril, cuando un temporal de lluvia afectaba la ciudad (Fig. 6.27) (Fotografía 6.1). En esta oportunidad llovieron cerca de 100 mm (La Nueva Provincia, 22 de abril de 2001). El día 26 del mes siguiente, la altura fue de 4,62 m a las 20:40 h en la segunda pleamar, con lluvias de 33 mm (La Nueva Provincia, 27 de mayo de 2001) (Fig. 6.28). Ambos valores de pleamar resultaron por encima de los valores medios máximos.

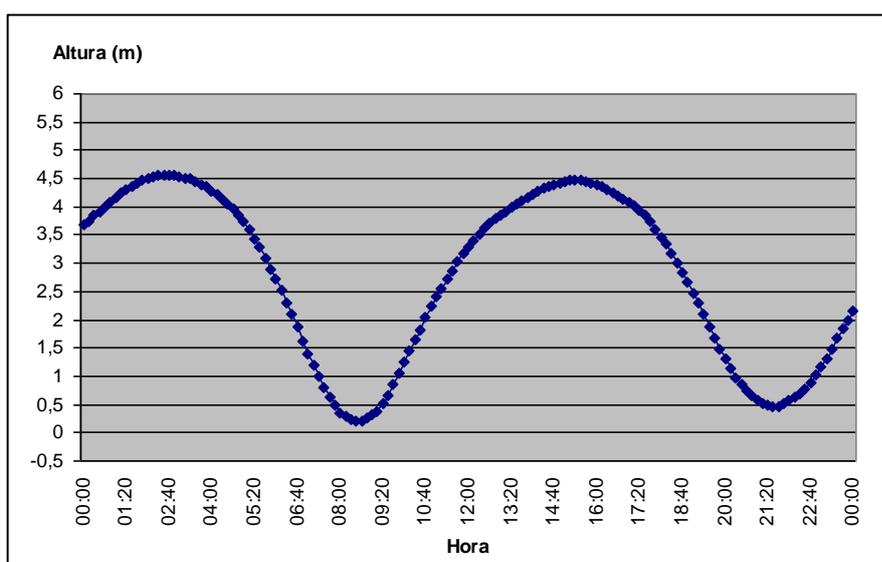


Figura 6.27. Altura de marea 18 de abril de 2001.



Fotografía 6.1. Avenida Sargento Cabral en Ingeniero White, 21 abril de 2001.
Fuente: La Nueva Provincia.

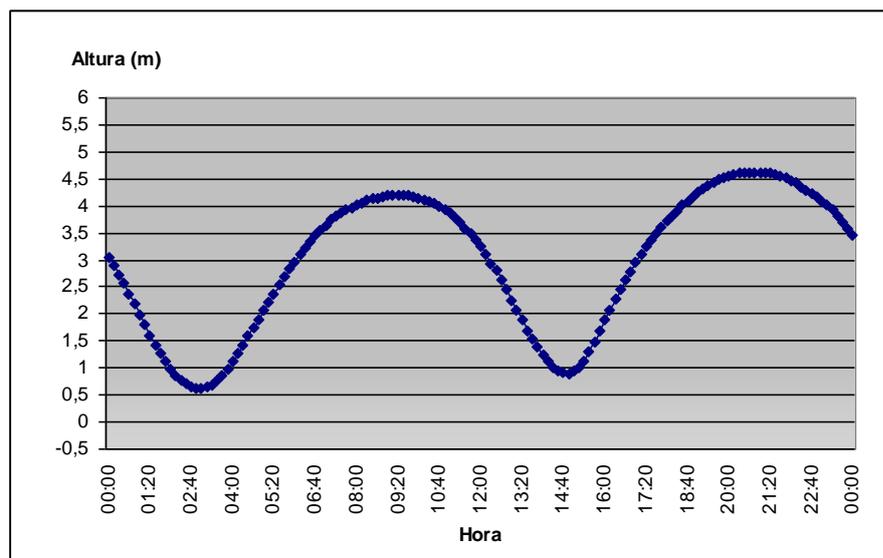


Figura 6.28. Altura de marea 26 de mayo de 2001.

Agosto de 2002: En los días 26 y 27 de este mes se manifestó un fuerte temporal de precipitaciones y fuertes vientos en toda la región. Zapperi *et al.* (2006: 6) describen el fenómeno estudiado en el ítem 5.6 del capítulo 5: “*un frente cálido que se extendió desde el centro del país hasta el suroeste de Buenos Aires, con registros térmicos, en el centro de la provincia, considerablemente mayores a los normales para esa época del año.....el pasaje de un frente de tormenta por el noroeste de Bahía Blanca el día 26 por la mañana, dejó importantes lluvias y ráfagas de viento de hasta 70 km/h*”. Los valores de altura de marea alcanzados en las sucesivas pleamares se mantuvieron entre los 4,20 m y 4,30 m en estos días (Fig. 6.29).

El día 31 la pleamar alcanzó los 4,85 m a las 00:30 h, comenzando a bajar lentamente a partir de esa hora. En esta oportunidad se registraron 103,6 mm de lluvia durante 47 h (La Nueva Provincia, 29 de agosto de 2002) (Fig. 6.30). El área de estudio fue uno de los sectores más perjudicados.

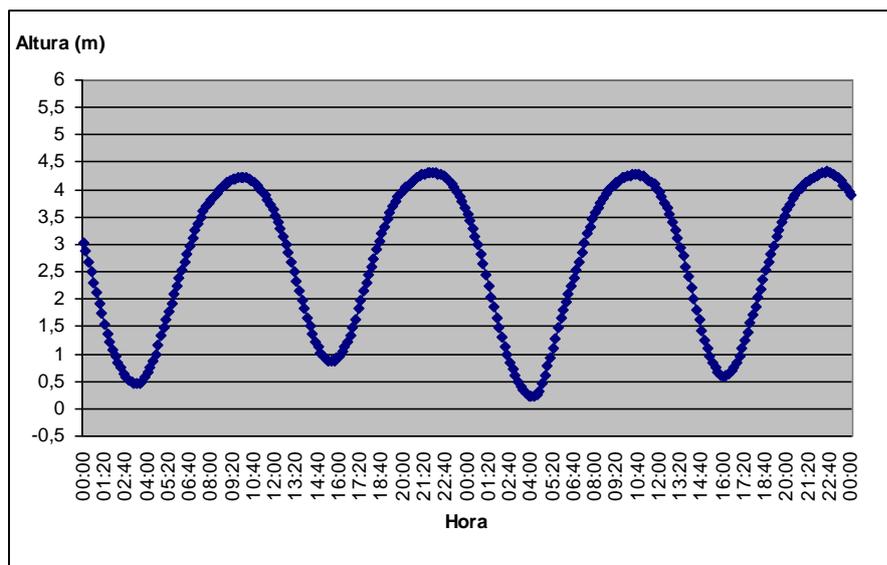


Figura 6.29. Altura de marea 26 y 27 de agosto de 2002.

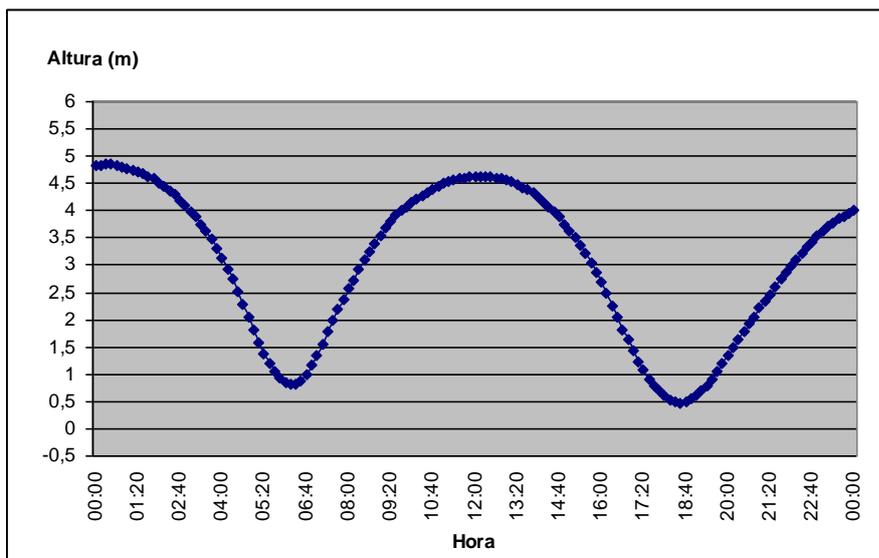


Figura 6.30. Altura de marea 31 de agosto de 2002.

Octubre de 2002: En los días 12 y 13 de este mes se registraron precipitaciones que llegaron a los 120 mm. La altura de marea fue de 4,50 m al mediodía del día 13 y presentó valores negativos de 0,18 m a las 18:30 h de ese día (Fig. 6.31). La prensa local también informó que la zona de Ingeniero White registró varias arterias inundadas y que la situación pudo ser controlada a lo largo del día. Este evento también fue analizado en el capítulo 5 a través de las cartas del tiempo.

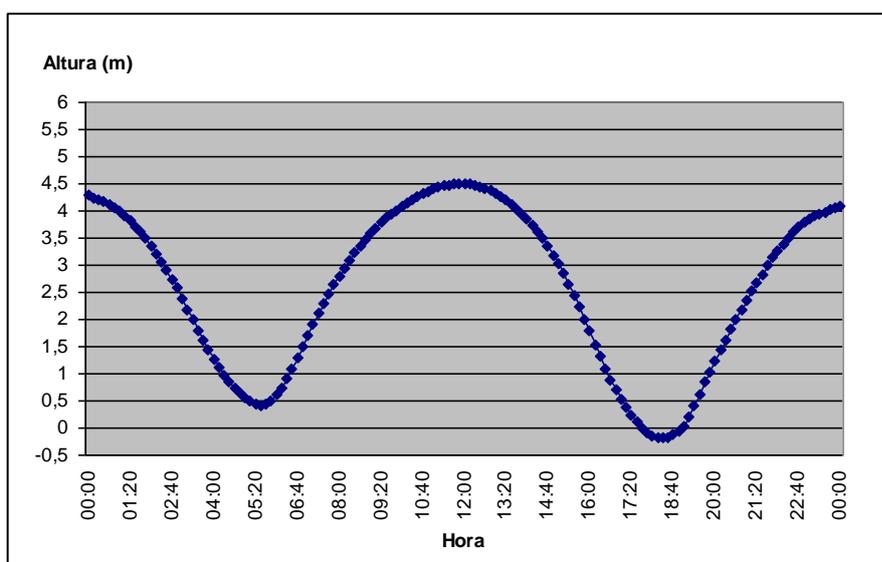


Figura 6.31. Altura de marea 13 de octubre de 2002.

Noviembre de 2002: Se manifestó un temporal en la región con ráfagas de viento del cuadrante Sur cercanas a los 100 km/h y olas que chocaban con fuerza contra el muelle whitense (La Nueva Provincia, 11 de noviembre de 2002) (Fotografía 6.2). Según el Servicio Meteorológico con asiento en Espora, la ráfaga principal se registró a las 12:57 h con 93 km/h. En cuanto a la lluvia se informó que cayeron 84,4 mm entre el sábado 9 y el domingo 10 (La Nueva Provincia, 11 de noviembre de 2002). Entre las 4 y las 5 h del día 10 la altura de marea fue de 2,11 m en bajamar, alcanzando los 5,38 m entre las 10 y las 11 h del mismo día en pleamar (Fig. 6.32) valores que se encontraron por encima de los valores medios máximos. Este evento también fue estudiado a través de las cartas del tiempo, en el capítulo 5.

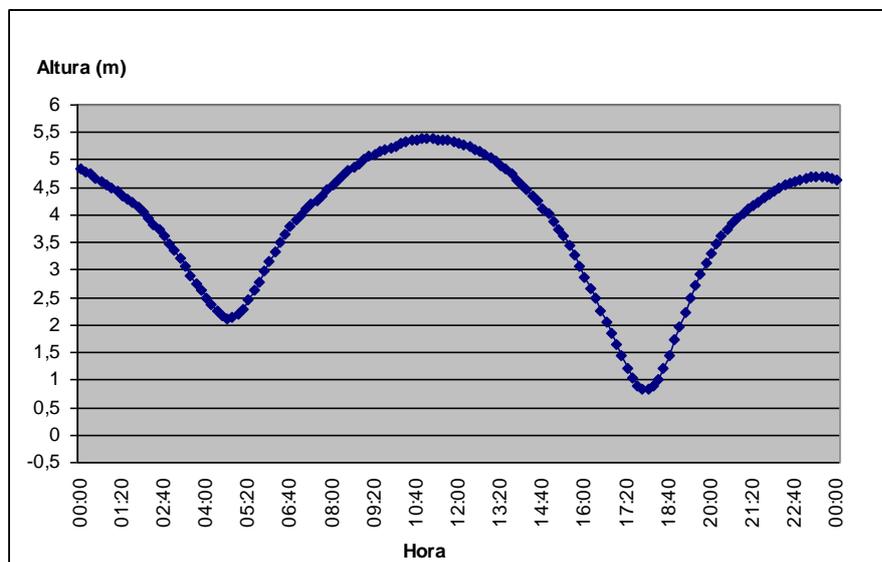


Figura 6.32. Altura de marea 10 de noviembre de 2002.

En la figura 6.33 se observa la información de altura de marea del puerto de Ingeniero White, de la Torre Mareográfica ubicada en la boca del estuario y de Puerto Belgrano correspondiente a la semana del 5 al 11 de noviembre. El incremento en altura de marea del día 10 de noviembre también fue registrado en la Torre Mareográfica ubicada en la entrada al estuario y en la de Puerto Belgrano. La Sudestada analizada en el capítulo 5, provocó el aumento de la altura de marea en el estuario alcanzando su valor máximo el día 10.

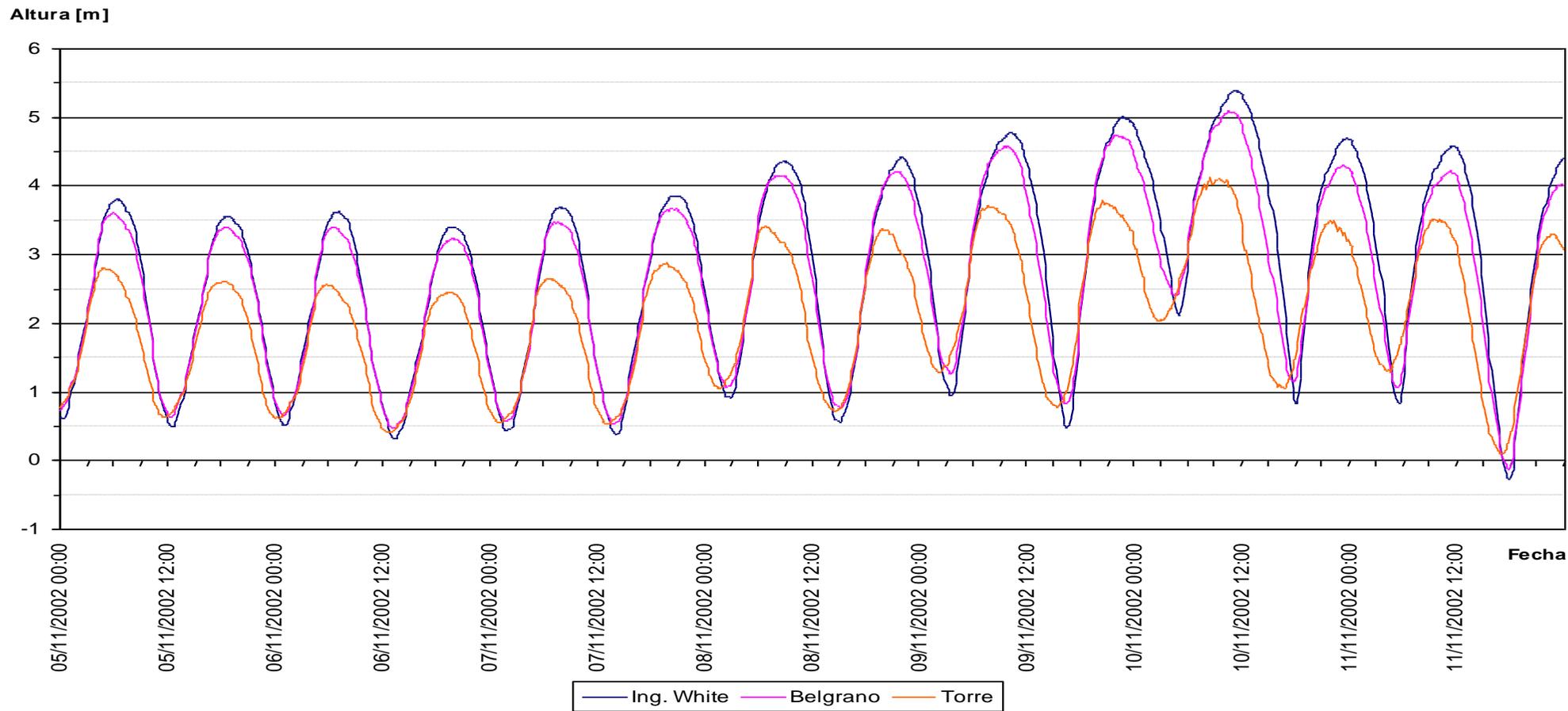
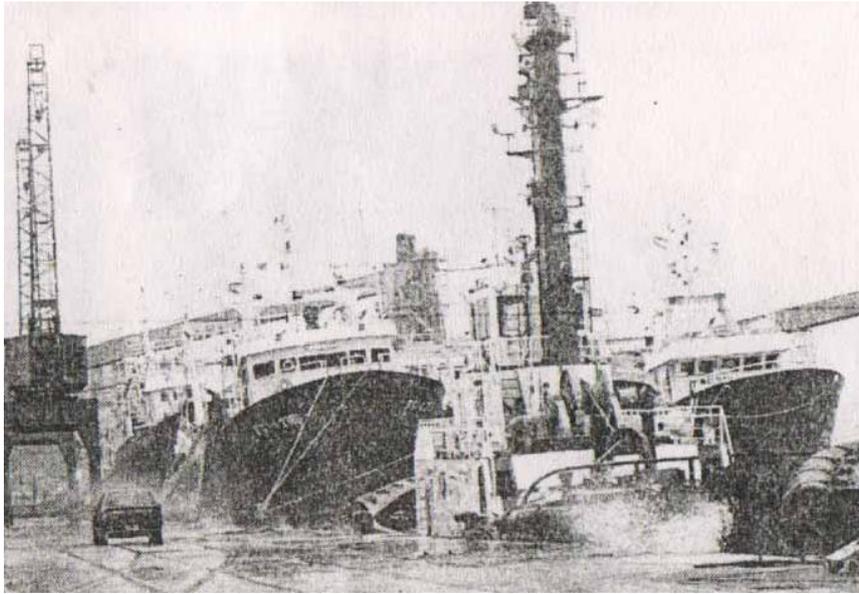


Figura 6.33. Altura de marea en Ingeniero White, Torre Mareográfica y Puerto Belgrano. Semana del 5 al 11 de noviembre de 2002.



Fotografía 6.2. Muelle whitense el 10 de noviembre de 2002.
Fuente: La Nueva Provincia

Enero de 2007: El 13 de este mes el agua de mar inundó varias arterias en Ingeniero White cuando una Sudestada con fuertes vientos afectó a esta localidad. Los datos provenientes de la Estación Meteorológica de Ingeniero White registraron vientos predominantes del cuadrante Sur y Sur – Sureste durante todo el día con una media de 28,22 km/h y ráfagas de 67,68 km/h. No se registraron precipitaciones. Entre las dos y tres de la tarde la altura de la marea presentó un máximo de 5,30 m en pleamar y fue de 1,87 m a las 21 h en la bajamar (Fig. 6.34).

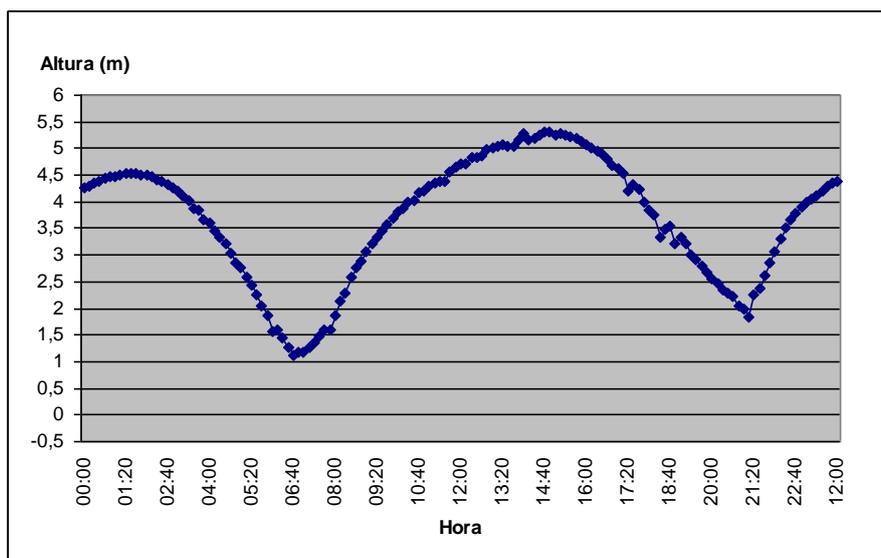


Figura 6.34. Altura de marea 13 de enero de 2007.

Julio de 2009: El día 29 de este mes se produjo un anegamiento de algunas áreas céntricas en Ingeniero White, cuando la altura de marea registró 5,53 m entre las 12:15 h y 12:37 h. El agua entró por las bocas de tormenta y en esta oportunidad no hubo evacuados pues los vientos fueron leves del Sur, la situación duró sólo unas horas. La población estaba en estado de alerta ante este acontecimiento, no se produjeron lluvias (La Nueva Provincia, 30 de julio de 2009).



**Fotografía 6.3. Calle Guillermo Torres esquina Cárrega.
Fuente: La Nueva Provincia**

En la fotografía 6.3 se observa la calle Cárrega en su intersección con la calle Guillermo Torres en horas del mediodía (Fig.1.2). De entrevistas a personas del lugar surge el relato de lo sucedido y la sensación de continuo temor y angustia por estos hechos que según cómo se desarrolle el cuadro meteorológico son de mayor o menor envergadura.

En síntesis, la ciudad de Ingeniero White se encuentra emplazada en la margen de un estuario. Su cercanía con el mar somete al área a los movimientos de las mareas. Cuando la altura de marea supera los valores medios máximos pueden ocurrir eventos de inundación en el área de estudio.

Los vientos provenientes del cuadrante Sureste, Sur y Suroeste provocan un incremento en la altura de la marea. El análisis de la frecuencia de sucesos en el área de estudio y los datos existentes de esas fechas permitieron deducir que cuando se conjugan los vientos con valores de 35 a 40 km/h o superiores provenientes del Sur o Sureste en momentos en que se produce la pleamar y ésta registra valores superiores a 5,30 m existe probabilidad de que se produzcan eventos de inundación. Estos valores de pleamar corresponden a alturas mínimas de 2,87 m con origen en el determinado por el IGM.

Precipitaciones superiores a los 100 mm/h conjuntamente con alturas de marea mayores a los valores medios máximos pueden provocar eventos de inundación. Una pleamar de 4,50 m corresponde a una altura de 2,07 m con origen en el determinado por el IGM.

Cuando no han sucedido precipitaciones y han existido eventos de Sudestada con ráfagas de viento del cuadrante Sur o Sureste superiores a 50 km/h, la altura de marea ha provocado estos eventos con 5,30 m y superiores.

7. USO DEL SUELO

El análisis del uso del suelo en el área de estudio como ya se citó en el ítem 2.10, fue realizado según la codificación establecida por la Municipalidad de Bahía Blanca (1993) para la futura subdivisión de la tierra, a través del Código de Planeamiento Urbano. Allí se identificaron 5 zonas bien diferenciadas.

Con el objetivo de obtener una muestra real del actual uso de la tierra, se identificaron los usos reales de cada parcela. Esta tarea se confeccionó por medio de la fotointerpretación a través de la visión estereoscópica, con el posterior control de campo. Según Natenzon (2008) identificar la información sobre los usos del suelo es una tarea de suma importancia para cualquier tipo de gestión que quiera llevarse a cabo sobre las cuencas.

7.1. Usos proyectados y usos previstos

La Municipalidad de Bahía Blanca (1993) a través del Código de Planeamiento Urbano ubica parte de la zona de estudio como zona Residencial Mixta (RM) y otra parte como Industrial (I1 e I3). Las zonas industriales corresponden a los diferentes usos industriales permitidos, variando según el grado de molestia, desde los de mayor envergadura (I1) hasta los de menor magnitud (I3).

La zona Residencial Mixta abarca el casco histórico de la ciudad de Ingeniero White y parte de los barrios Villa Delfina y Villa Rosas (Fig. 3.7) que drenan sus aguas hacia el estuario. En esta zona se compatibilizan las áreas de vivienda con la industria-taller.

Otra zona de la cuenca corresponde a la denominada Anillo (A) que abarca el sector próximo a las vías ferroviarias y que recibe ese nombre por pertenecer al área que contiene en forma de anillo, toda el superficie central de la ciudad de Bahía Blanca y cuyo destino es la futura expansión de este núcleo. El área de puertos (P) pertenece a otra zona del código de zonificación y está afectada a todos los usos relacionados con la actividad portuaria que requieren condiciones especiales de desarrollo. En la tabla 7.1 se observa la distribución de las superficies que abarcan cada una de las áreas destinadas a diferentes usos.

Código Zonificación	Área(ha)
I3 -industrial 3	120
I1 -industrial 1	31
Puertos (P)	45
RM –residencial mixta	392
A -anillo	2

Tabla 7.1 Superficies ocupadas por las distintas zonas según el Código de Zonificación.

La mayor superficie se encuentra destinada a la zona Residencial Mixta (RM) que tiene como uso preponderante a la vivienda – taller y/o comercio. Es la correspondiente a la actual subdivisión en damero, que envuelve todos los amanzamientos de los barrios existentes en la zona. Se encuentran ubicados hasta la altura de los 2,5 y 4 m sobre el nivel del mar. El uso previsto para esta zona es de vivienda – comercio y actividades de recreación y de servicio.

La zona industrial 3 tiene como uso predominante industrias de cierta magnitud que no producen altos grados de molestia, su altura sobre el nivel del mar va desde los 3 m hasta los 7 u 8 m. En la actualidad configura un área donde no se ha emplazado todavía ninguna industria, por lo que constituye una amplia superficie de terreno natural. Por su ubicación, se encuentra en el paso de las aguas provenientes de la zona más alta de la cuenca, donde la erosión por arrastre de sedimentos muestra áreas desnudas sin vegetación con patrones de salitre en la cobertura superficial. Estas parcelas catastrales, con destino netamente industrial, podrán ser a futuro sometidas a subdivisión de la tierra para poder hacer uso de la misma. Al encontrarse emplazadas por debajo de las cotas de los pavimentos que las rodean, están sujetas a un previo relleno de la tierra como lo establece el código.

La zona industrial 1 abarca sólo 31 ha de la cuenca y constituye en la actualidad un área emplazada entre los 1,50 m y 2,50 m sobre el nivel del mar. Lindera a barrios de vivienda, su destino es el de industrias típicas que pueden alcanzar su máximo desarrollo ya que no se superpone con ningún otro uso que sea incompatible con las mismas (Municipalidad de Bahía Blanca, 1993). No existen industrias actualmente en esta área y sólo el suelo desnudo casi sin vegetación puede verse en las fotografías actuales del sector (Fotografía 7.1 y 7.2).



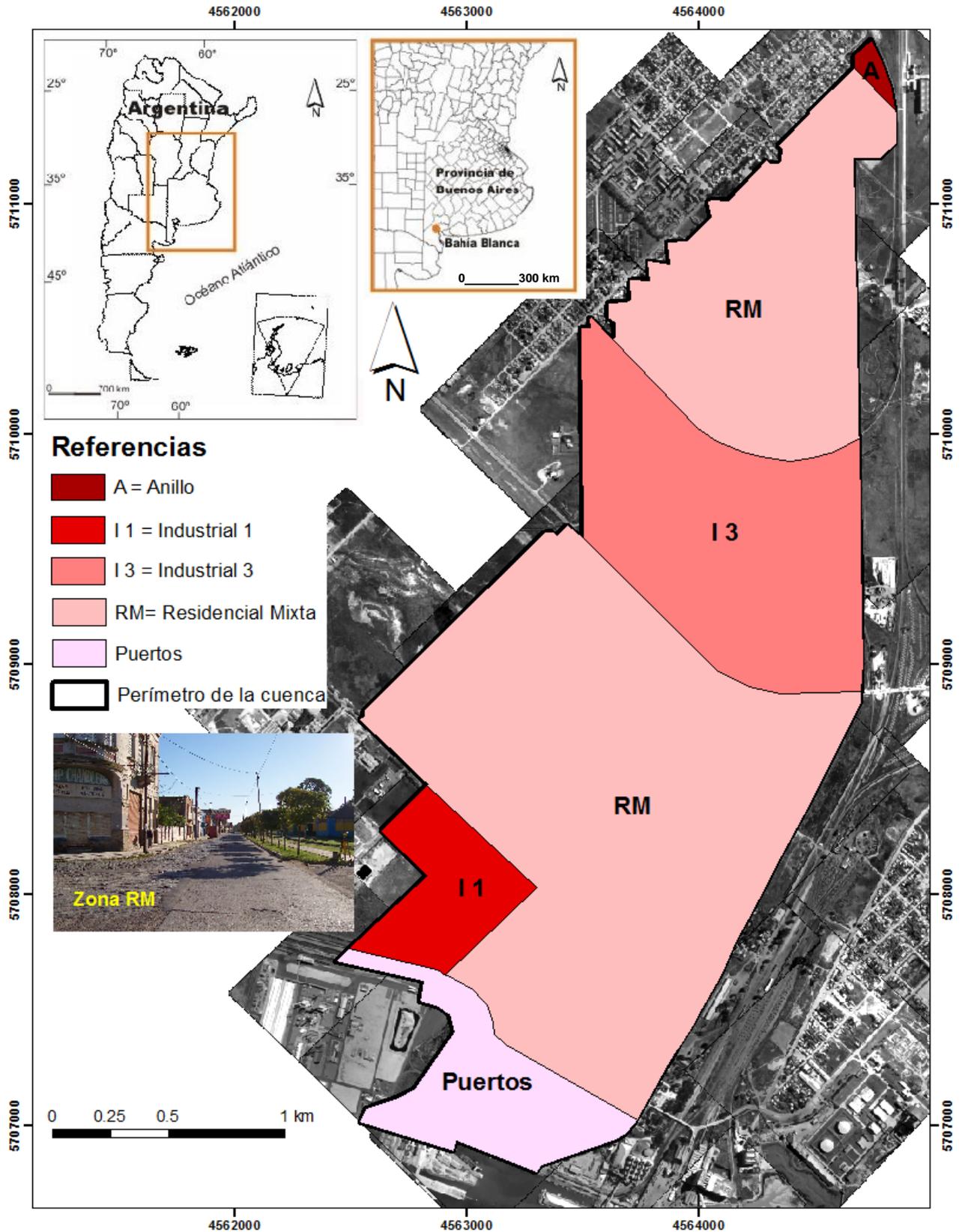
Fotografía 7.1. Zona Industrial 3 y Fotografía 7.2. Zona Industrial 1.

El área destinada a anillo, cubre sólo 2 ha del total de la cuenca y está emplazada en la zona más alta de la misma, entre los 7 m y 11 m sobre el nivel del mar. En la actualidad, no tiene uso definido y la superficie está cubierta sólo por pasto natural.

El área destinada a servicios portuarios, abarca 45 ha de galpones, silos, playa de estacionamiento de camiones y todos los usos derivados de la actividad portuaria indispensables para su funcionamiento. Se encuentra asfaltada casi en su totalidad. La única excepción involucra a la zona donde se ubican las entradas a puerto de vías férreas de antigua data. Allí se hayan emplazadas en la actualidad las plantas aceite y malta de la empresa Cargill. El lugar fue sometido a relleno y cuenta con población arbórea, configurando el único pulmón verde existente en el área portuaria.

Resulta de este análisis que un 66 % de la cuenca está destinada a uso residencial – comercial y un 26 % se encuentra al presente sin urbanizar. Un 8 % del área está afectada a zona de servicio al puerto.

En la figura 7.1 se observan las distintas zonas que afectan a la cuenca de estudio. La visión en conjunto de las distintas fotografías aéreas y la localización de los usos del suelo según el Código de Planeamiento Urbano permitió observar el escaso o nulo crecimiento de las áreas industriales. Las áreas vecinas a esta cuenca, por su lado noroeste presentan la misma realidad.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base del Código de Planeamiento Urbano (1993)

Figura 7.1. Zonificación del área de estudio según el Código de Planeamiento Urbano.

7.2. Uso actual de la tierra

El uso del suelo es sumamente dinámico ya que depende de las múltiples actividades económicas desarrolladas por la población. Los datos son por lo tanto, válidos solamente para un momento determinado. La identificación de los distintos usos realizada en el 2010 conduce a una división por clases de uso, para lo cual se utilizan distintos sistemas de clasificación. Las unidades de uso del suelo se definen por su uso predominante, ya que en la mayoría de los casos los distintos usos se presentan en forma simultánea o alternada en el mismo espacio geográfico (Natenzon, 2003).

Para la clasificación de uso del suelo se tuvo en cuenta la metodología aplicada por Gray de Cerdán (1987) y se logró individualizar cartográficamente los distintos usos del área de estudio. El SIG permitió incorporar en las tablas de atributos, los usos actuales de la tierra, que se incorporaron así al parcelamiento digitalizado. El trabajo se llevó adelante mediante fotointerpretación y visita a campo. La lectura de esta cartografía temática permitió una rápida visión de los usos de la zona, individualizando las áreas con mayor urbanización de aquellas que se encontraban con macizos sin urbanizar.

Los distintos usos fueron categorizados en: residencial, residencial tipo barrio de viviendas, urbanizados no edificados que corresponden a las parcelas baldías ubicadas en zona urbana, no urbanizado que involucra aquellas parcelas de gran extensión que no han sido aún sometidas a subdivisión de la tierra, industrial y comercial. Las áreas de servicios fueron separadas en: seguridad (policía y bomberos), recreación (plazas y clubes), religioso, educación, salud y se englobó a las oficinas municipales, entidades, sociedades, agrupaciones y gremios en una misma categoría. La existencia de un gran playón asfaltado para estacionamiento en la zona de puertos motivó la demarcación de otra categoría. El resultado se acompaña en la figura 7.2.

La figura 7.3 es una ampliación del área donde existe mayor variabilidad de los usos y fue confeccionada para poder observar en detalle lo representado en la figura 7.2. Esta ampliación corresponde también a la zona de la cuenca que mayor número de veces tuvo eventos de inundación. La cartografía realizada fue utilizada para el análisis del riesgo en el capítulo 8.

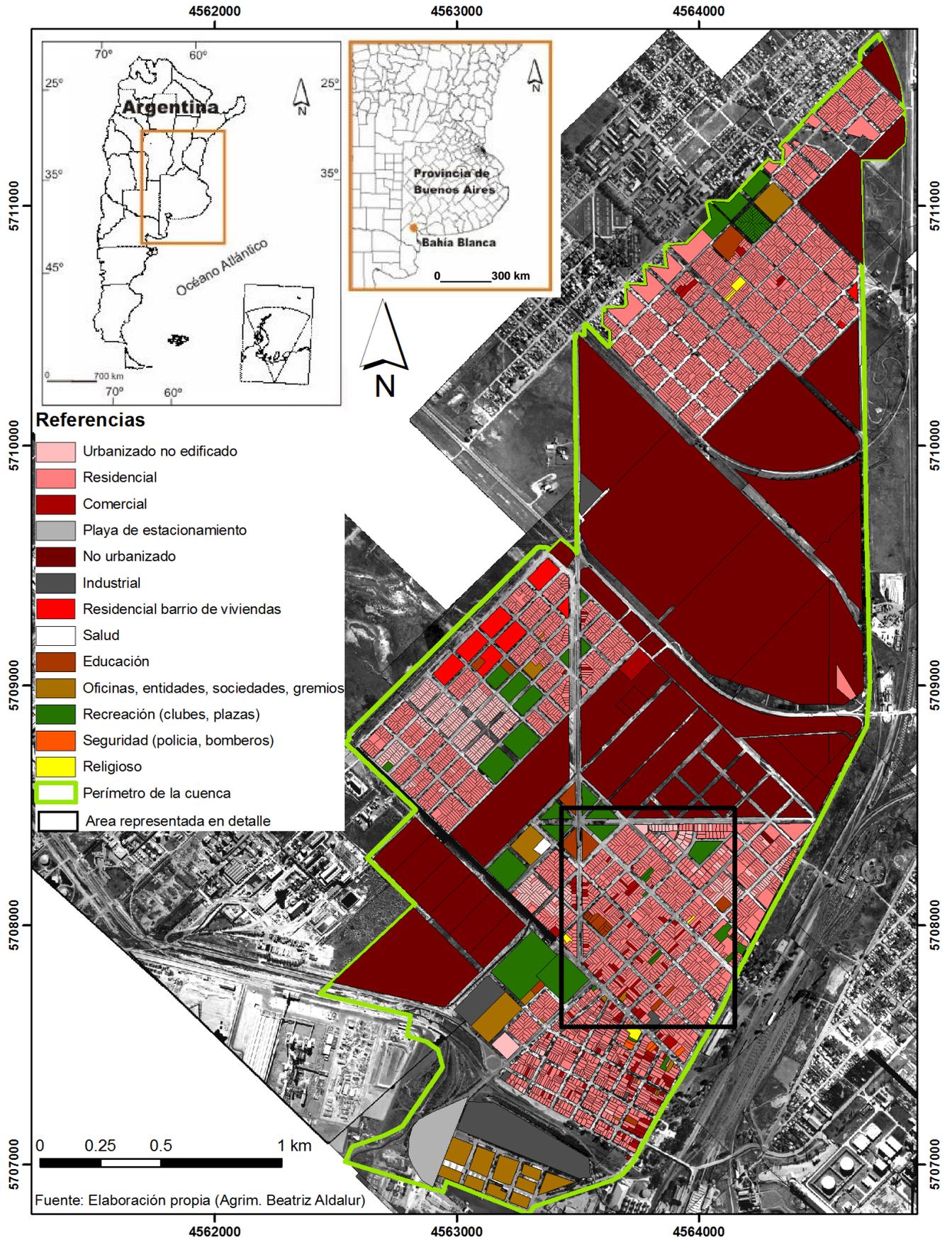


Figura 7.2. Uso actual de la tierra. Año 2010.

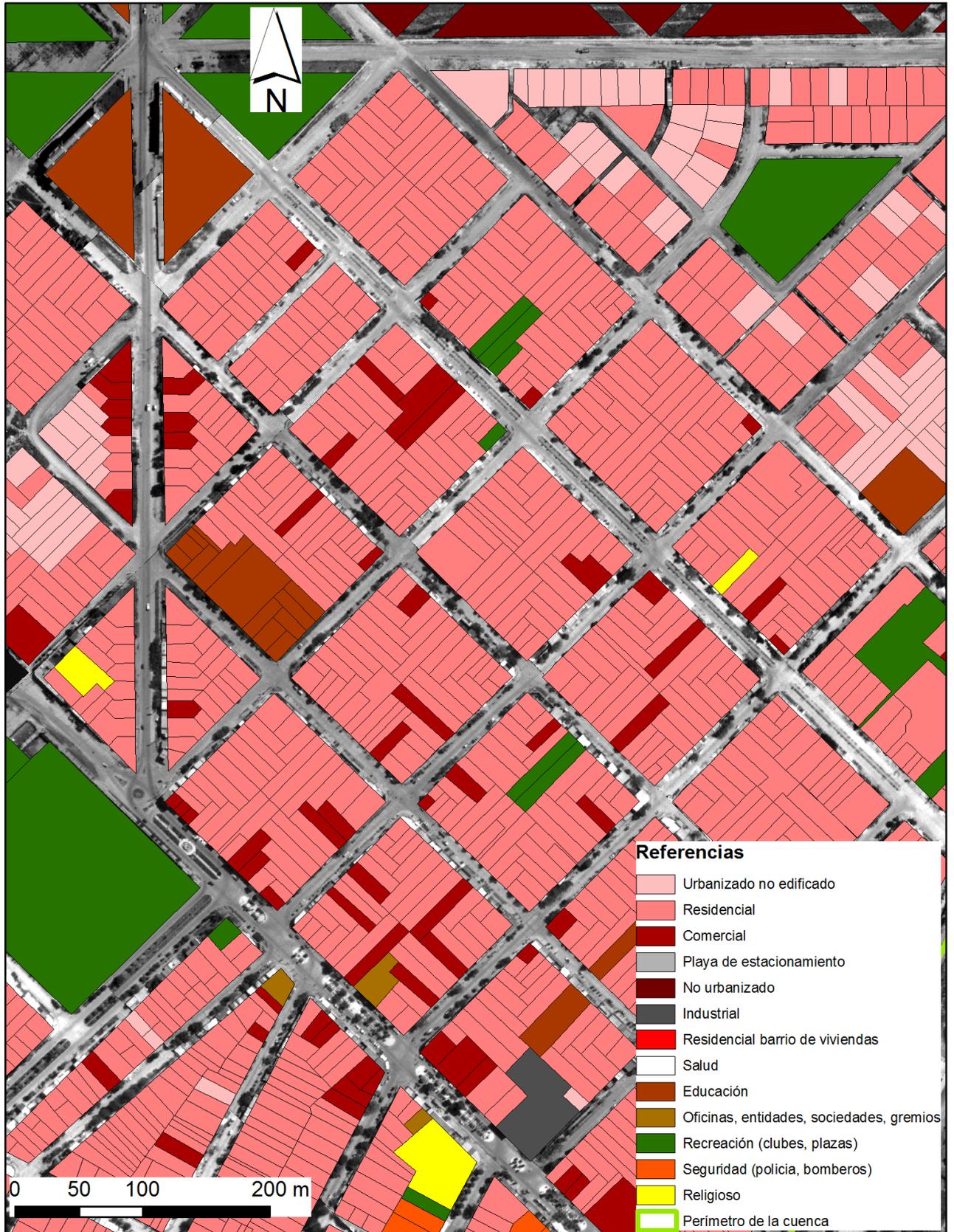


Figura 7.3. Detalle ampliación área delimitada en la figura 7.2. Año 2010. Elaboración propia.

La tabla extraída a partir del SIG, con información de uso del suelo y superficies de cada uso para cada cuenca y subcuenca se acompaña al final de la tesis como anexo II.

7.3. Crecimiento de la trama urbana

El diseño de la trama urbana en la zona de estudio fue realizado a través de la fotointerpretación. Esta técnica ha sido muy aplicada por distintos autores (Ojeda Zújar y Villar Lama, 2006; Oñate-Valdivieso, 2006) en diversos trabajos. En los casos en que no se contó con el par estereoscópico, la delimitación se realizó a través de la lectura de la foto o carta.

El crecimiento en la zona de estudio tuvo una importante evolución luego de la instalación de la red ferroviaria en el año 1885. Si bien se tienen registros de la existencia del puerto desde 1828, en sus comienzos sólo éste contaba con unos cuantos estacones clavados en la desembocadura del arroyo Napostá, que indicaban el camino a los navegantes para llegar a la costa sin peligros de hundirse o vararse en el cangrejal. No había muelles, ni planchadas ni escolleras (www.ingenierowhite.com).

La llegada del ferrocarril, por medio de la compañía Ferrocarril del Sud, que construyó un muelle de traza curva, brindó una salida de los productos de la región a través del estuario y así dio comienzo a la formación y crecimiento de instalaciones públicas y privadas en el área y a la instalación de obras de infraestructura y servicios. Se construyeron nuevos muelles, depósitos, elevadores de granos y las dos usinas, la del ferrocarril y la edificada al borde de los cangrejalos que hoy constituye un gran castillo destinado a museo. Surgieron entonces las primeras viviendas y comercios utilizados por los trabajadores del puerto y del ferrocarril.

Para delimitar el crecimiento se marcaron las manzanas que poseían edificaciones, dejando de lado aquellas que no las poseían. En la carta del IGM con data del año 1937 se observa que el ingreso a la localidad de Ingeniero White se realizaba a través de la calle Santiago Dasso que conformaba un camino no pavimentado. En ese momento ya existían las calles Guayaquil, Juan Bautista Cabral y avenida San Martín (Fig. 1.2) no pavimentadas y una serie de viviendas ubicadas en forma independiente en cada lote y enmarcadas en esa área (Fig. 7.4). Una amplia zona sin edificaciones ni parcelamientos separaba la localidad de Ingeniero White con el actual barrio Villa Rosas.

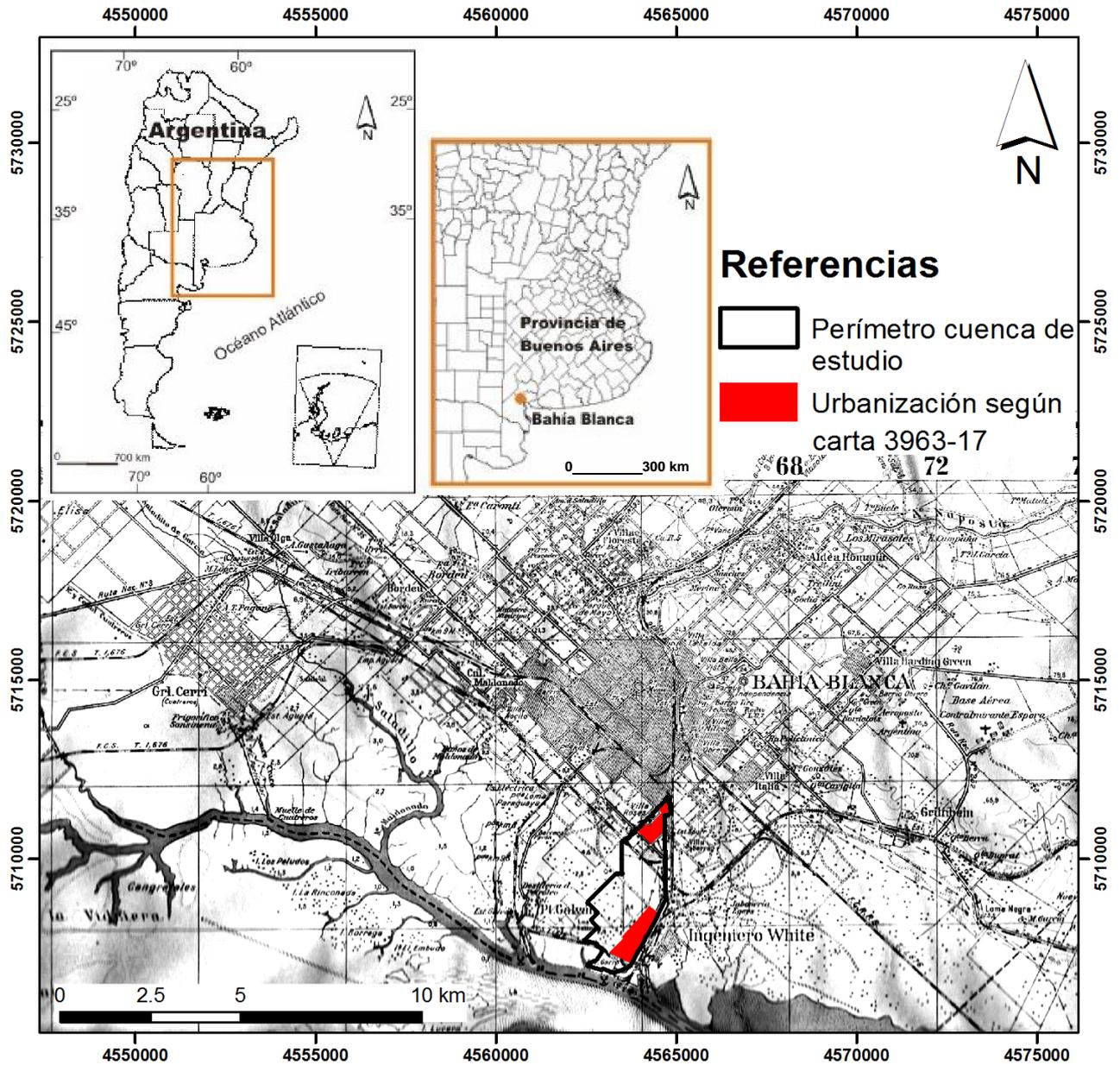
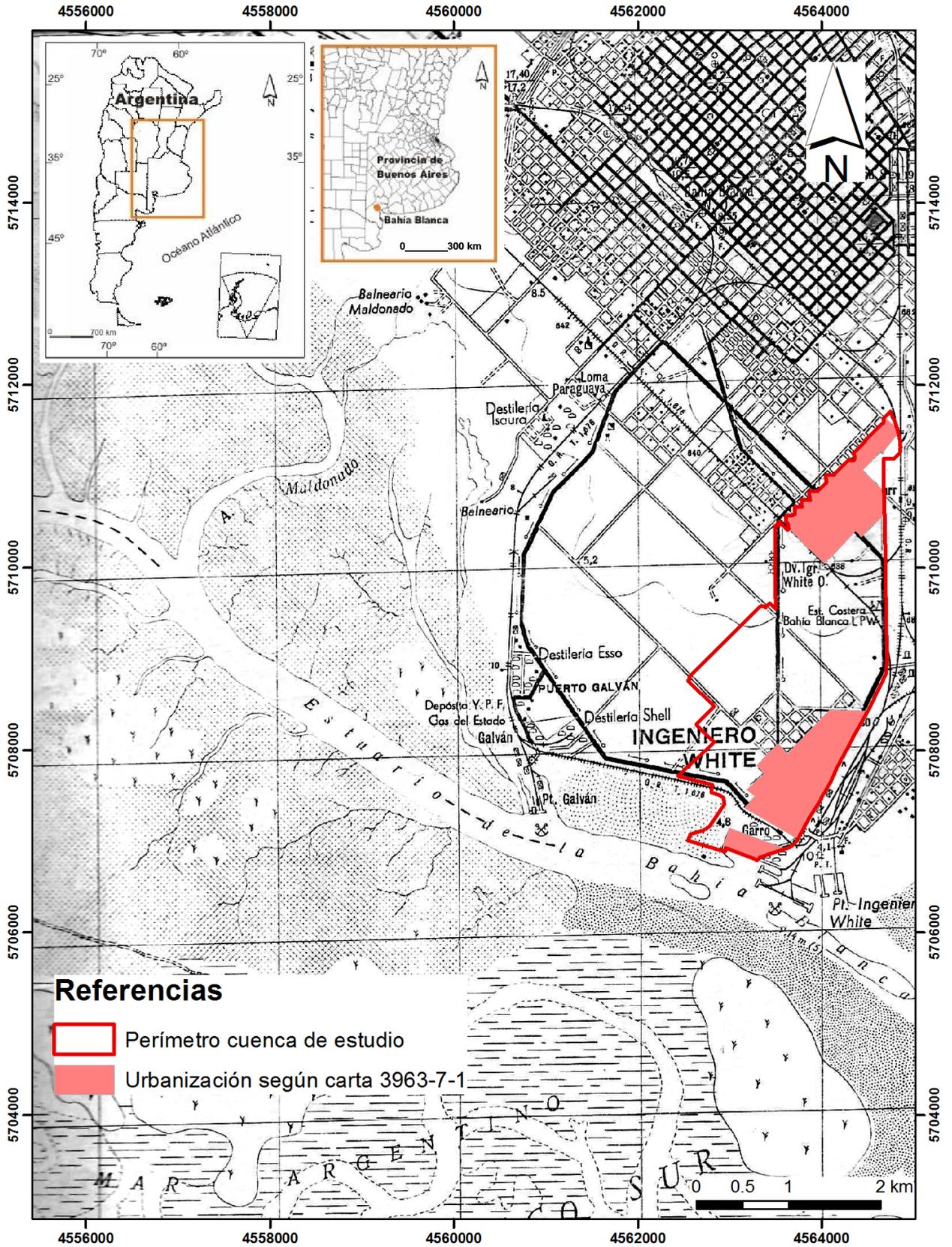


Figura 7.4. Crecimiento de la urbanización para el año 1937.

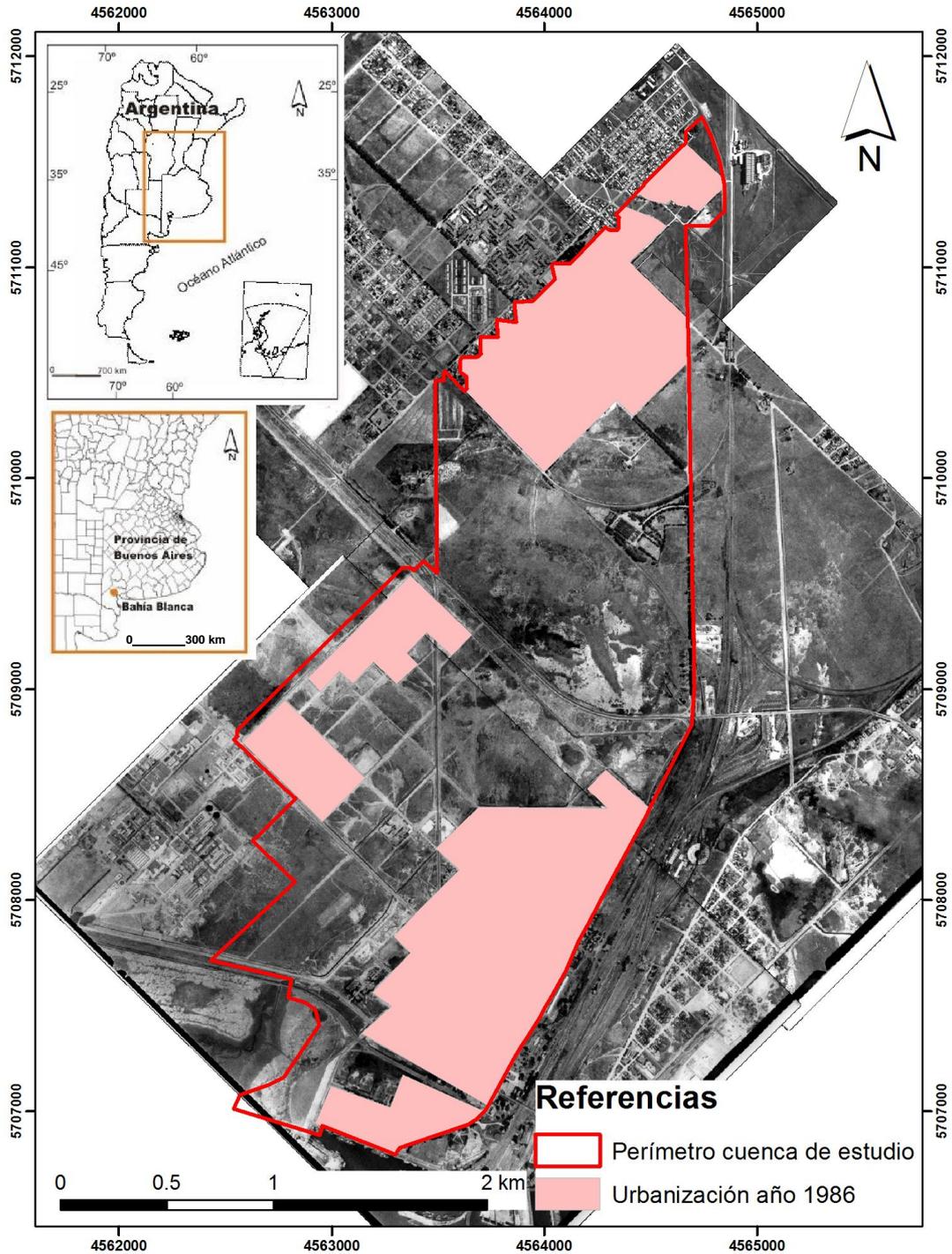
En el análisis de la carta del IGM, correspondiente al año 1967, se observan los dos accesos importantes a la ciudad: calle Dasso y calle Guillermo Torres (Fig.1.2) ya pavimentados en esa fecha (Fig. 7.5).



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de la carta N° 3963-7-1 del IGM

Figura 7.5. Crecimiento de la urbanización para el año 1967.

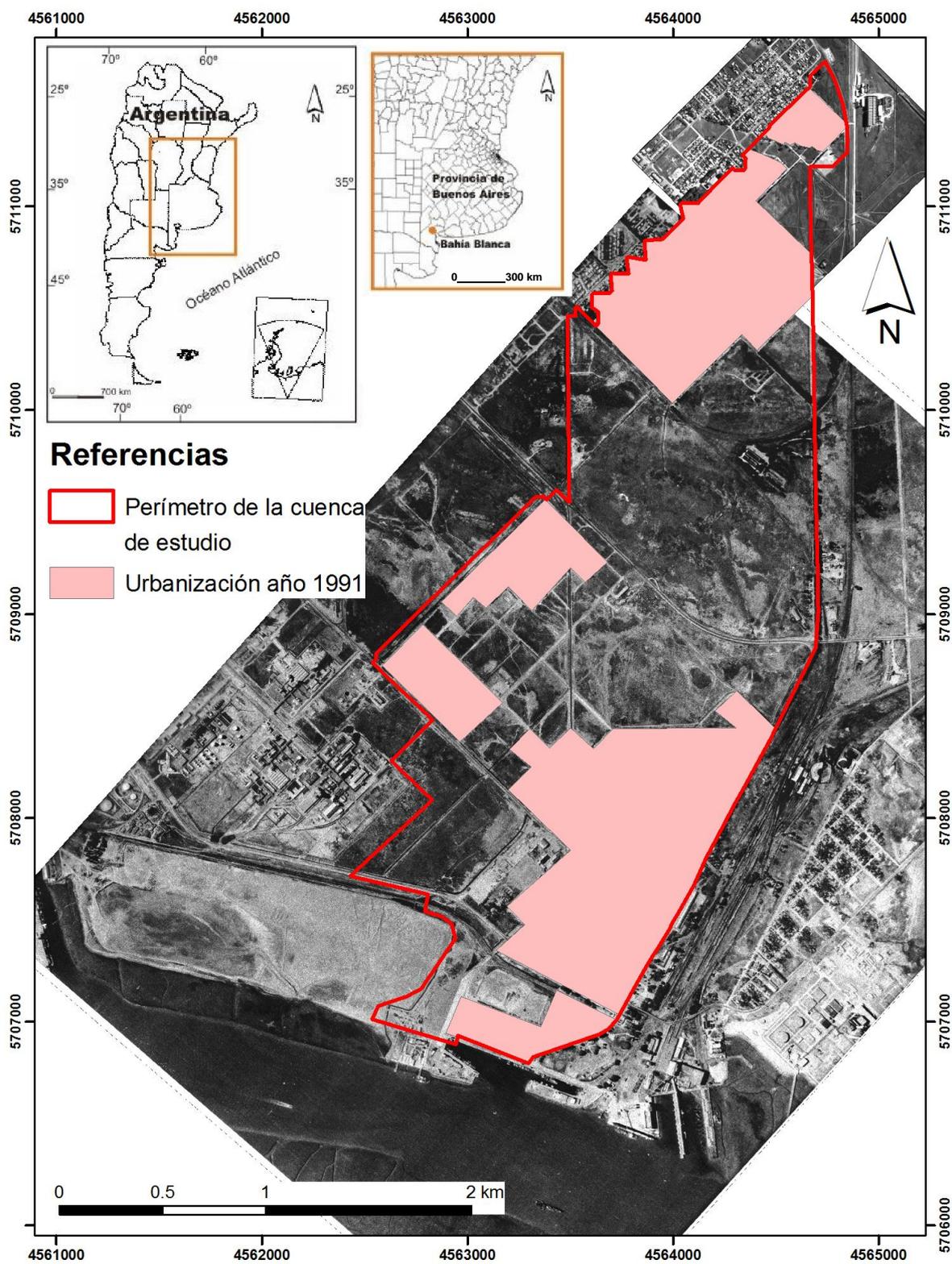
En los fotogramas del año 1986, comienza la subdivisión de la tierra y surgen los primeros barrios de viviendas en lo que se denomina actualmente barrio 26 de Setiembre (Figs. 3.7 y 7.6). En esta etapa, el sindicato SUPE (Sindicato Unión de Petroleros del Estado) es el que construye las primeras edificaciones tipo bloque.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de fotografías aéreas georreferenciadas del año 1986

Figura 7.6. Crecimiento de la urbanización para el año 1986.

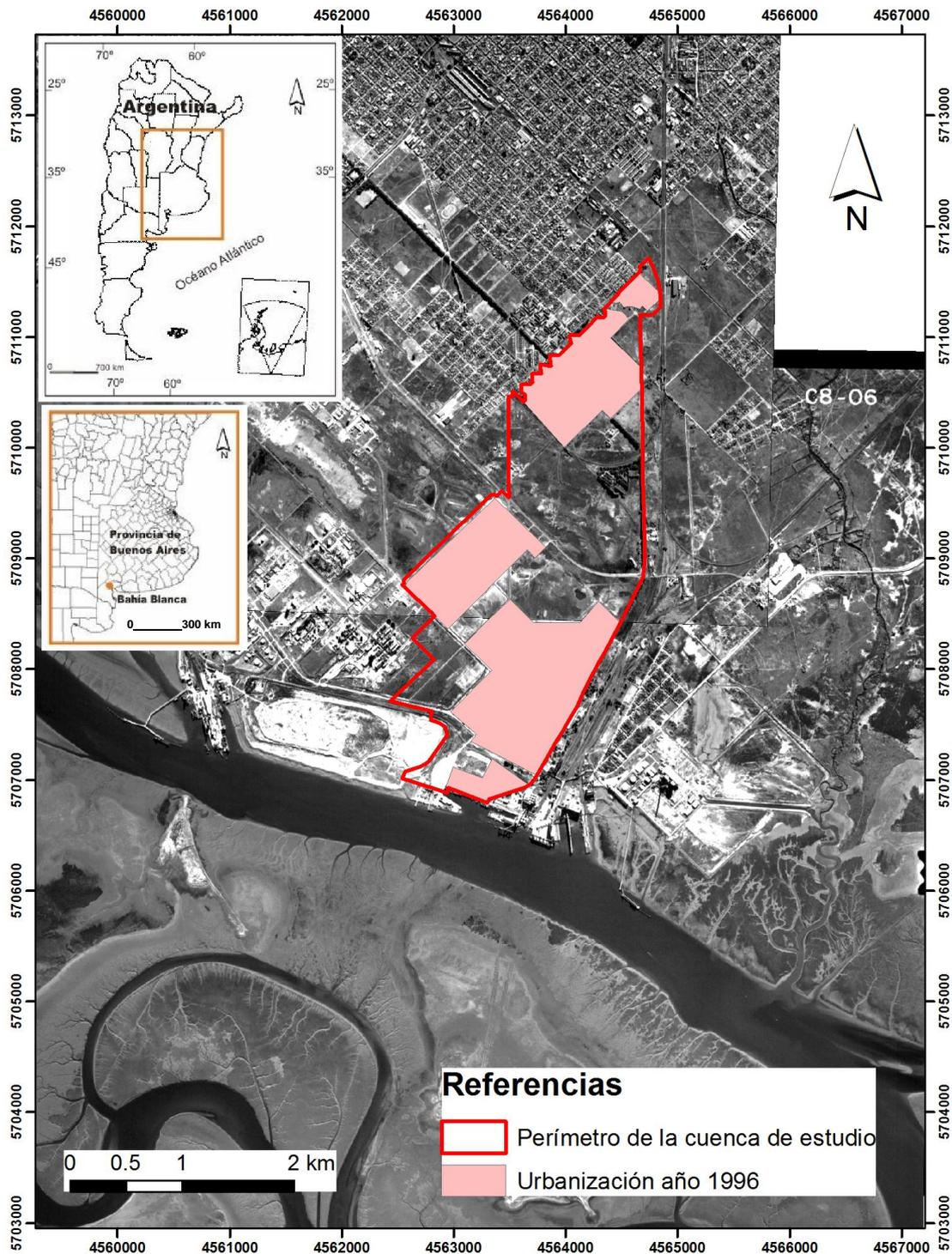
Para el año 1991 los grupos de vivienda de Achinelli y Junta Nacional de Granos se agregan al anterior mencionado (Figs. 3.7 y 7.7).



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de fotografías aéreas georreferenciadas del año 1991

Figura 7.7. Crecimiento de la urbanización para el año 1991

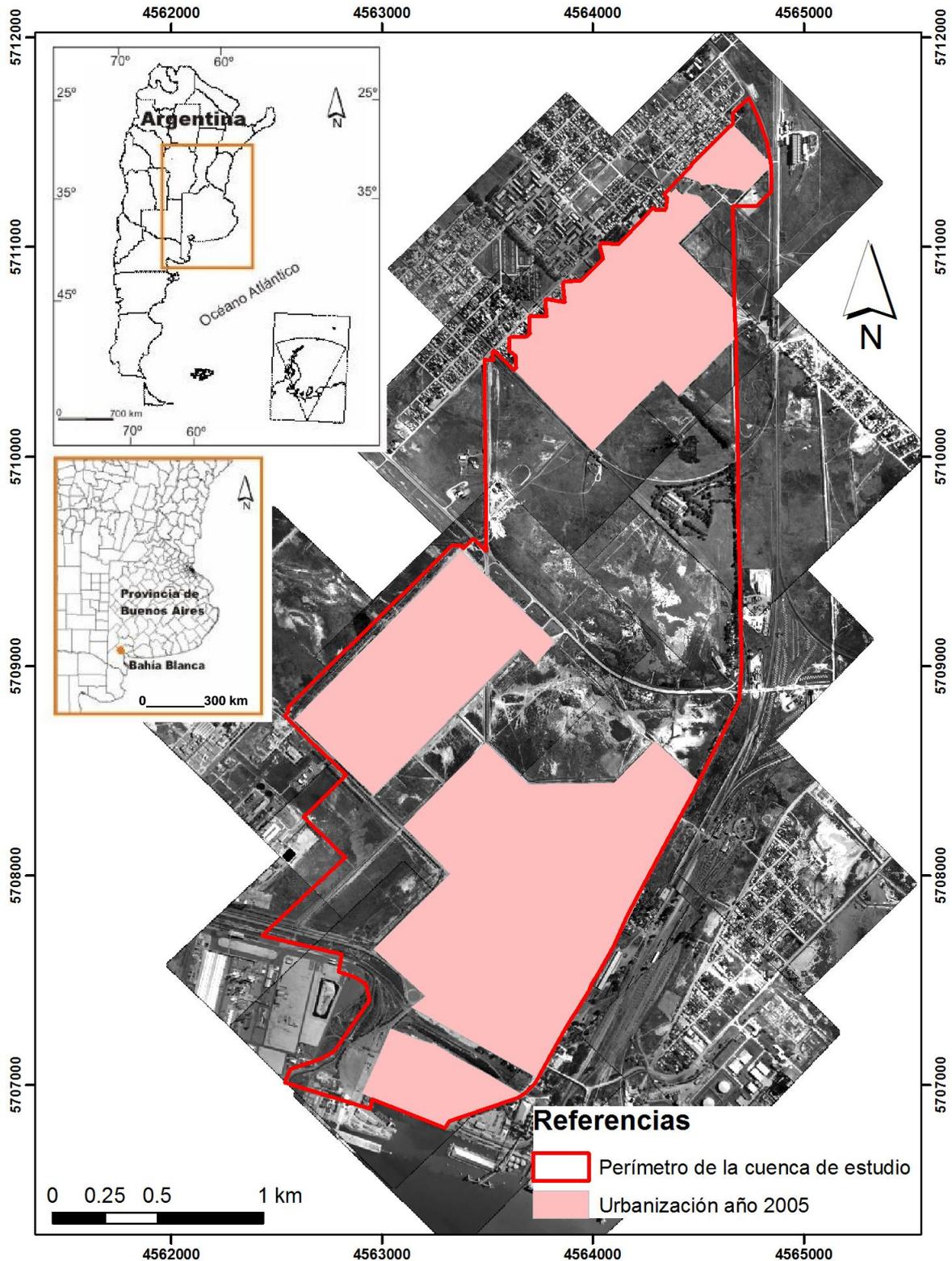
En el año 1996 se incorporan las viviendas de los gremios Vialidad y Prefectura (Figs. 3.7 y 7.8). Todos ellos configuran un área de viviendas nucleadas en lo que el municipio denomina barrio 26 de Setiembre ya que así se denomina la Sociedad de Fomento que los engloba.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de fotografías aéreas georreferenciadas del año 1996

Figura 7.8. Crecimiento de la urbanización para el año 1996.

En la figura 7.9 se observa la trama urbana en la actualidad. A lo largo de estos años, el área residencial linder a la zona de puertos fue incrementándose lentamente.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de fotografías aéreas georreferenciadas del año 2005

Figura 7.9. Crecimiento de la urbanización para el año 2005.

En la figura 7.10 se presenta la superficie ocupada para los años analizados. Entre los años 1937 a 1967 se observa un incremento lineal de la trama urbana con escasa pendiente, que continúa hasta 1991. A partir de allí el crecimiento lineal es más elevado hasta 1996 y desde esa fecha el área se mantiene constante en cuanto a crecimiento edilicio, con escaso aumento de edificaciones hasta nuestros días.

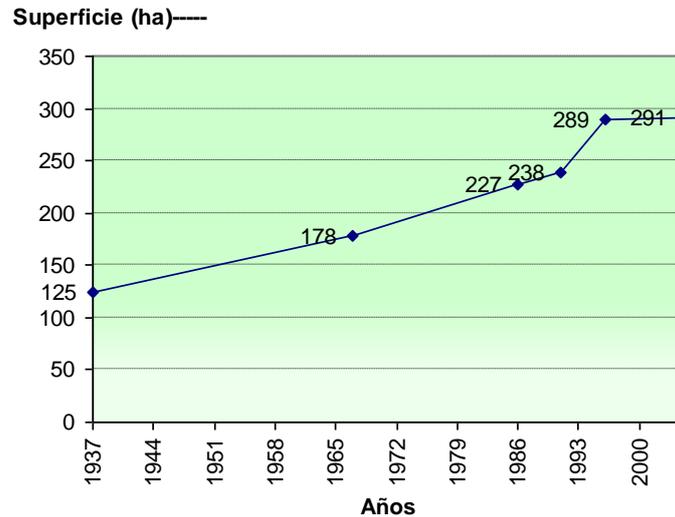
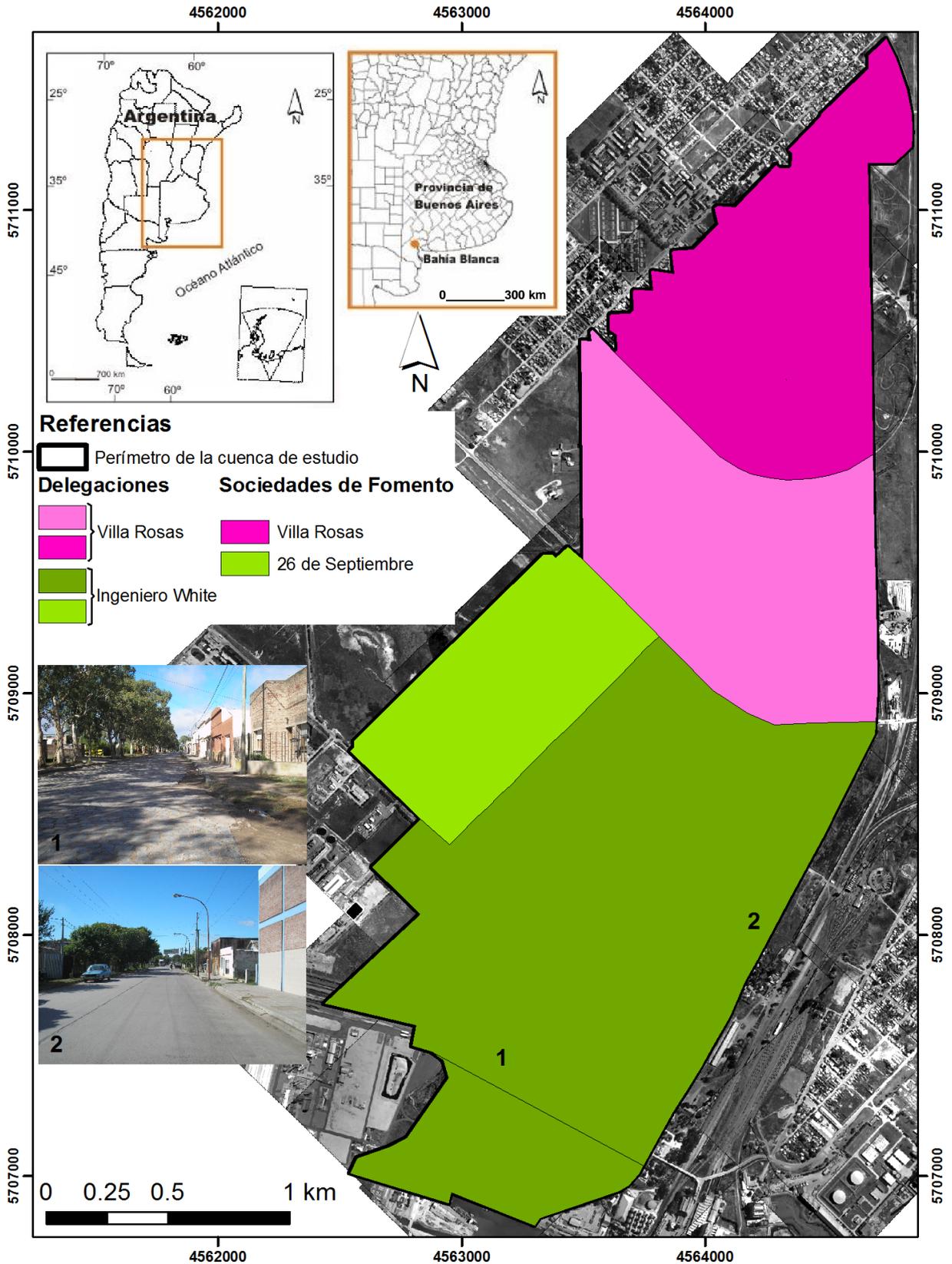


Figura 7.10. Superficie urbanizada en los distintos años.

De consultas realizadas a los martilleros del medio, sobre ventas u ofertas de ventas de distintas propiedades en la zona, estiman que el desarrollo de la zona industrial y petroquímica, cercana a la localidad de Ingeniero White, ha provocado que esta área no sea atractiva para los habitantes, para establecerla como lugar de residencia. La población sólo permanece en ella por cercanía a lugares laborales o por vínculos familiares. La figura 7.11 detalla los barrios y sociedades de fomento en los que se encuentra dividida el área de estudio, según la Municipalidad de Bahía Blanca.

El crecimiento de la zona se encuentra en una etapa de equilibrio estable, ya que no se observan desarrollos de edificaciones en los últimos años ni existe presión por ocupar los espacios vacantes. El área de estudio incrementará el riesgo de inundarse en la medida en que en el futuro, nuevas tierras se vayan incorporando al uso residencial, comercial o industrial.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur) sobre la base de información suministrada por la Municipalidad de Bahía Blanca

Figura 7.11. Ubicación de delegaciones y sociedades de fomento en el área de estudio.

El futuro crecimiento de las áreas vecinas impondrá nuevos cambios en las redes de drenaje estudiadas. De no existir un proyecto general en la salida de los desagües pluviales de toda el área y de áreas linderas, la urbanización de las mismas, en especial las que en este momento se encuentran bajo la zona I1 e I3, incrementará el flujo de las aguas de lluvias aumentando la posibilidad de inundaciones en la zona de estudio.

PARTE 3

En esta parte se realiza el cálculo de caudal mediante la utilización del método racional y se controlan los desagües existentes. Se aplica el método del Número de Curva para calcular la precipitación neta.

Se abordan los conceptos de exposición y peligro de inundación en el área de estudio.

Se exponen las conclusiones y recomendaciones que surgen del trabajo de esta tesis.

8. DRENAJES URBANOS

Los conductos por donde circula el agua de lluvia que corren en cañerías por debajo del terreno natural, son calculados por los ingenieros hidráulicos tomando como base las curvas de nivel existentes en el terreno. En función de esa topografía se busca calcular el caudal máximo para una lluvia determinada. Los problemas de aguas de lluvia en los sectores urbanos requieren soluciones de continuidad y coherencia ya que son varios los agentes que intervienen e interactúan entre sí. El agua que escurre sobre la superficie urbana hace que cada sector sufra las consecuencias de lo que ocurre aguas arriba y genere efectos de lo que ocurre aguas abajo.

Cuando las zonas se urbanizan aguas arriba de los sectores que ya cuentan con un sistema de drenaje, éstos van quedando obsoletos o no tienen la capacidad de evacuar los mayores caudales que se generan por haber impermeabilizado esas áreas. El problema principal que surge en la zona de estudio es drenar y evacuar los posibles excesos de aguas que se producen cuando ocurren las lluvias o cuando suben las mareas. Se debe conducir los excesos de agua mediante redes de colectores hacia el cauce natural más cercano que es el estuario de Bahía Blanca.

Como ya se mencionó en el punto 2.11, se realizó un análisis del estado y ubicación de las diferentes obras que forman la red actual de desagües drenajes pluviales y cloacales. El método utilizado para el cálculo de los diferentes caudales fue el método racional, para lo cual se trabajó con el programa para cálculos hidrológicos HidroEsta (Villón Béjar, 2008). Se controlaron los desagües existentes utilizando el programa HCanales (Villón Béjar, 1994) y se analizó la escorrentía del área por el método del Número de Curva o Número Hidrológico (Chow *et al.*, 1999; Torrero, 2009).

8.1. Desagües pluviales: estado actual de las obras de arte

Toda el área drenada cuenta en la actualidad con 3 salidas al estuario que modificaron la situación original de la cuenca. Dos de ellas conformadas por conductos que vuelcan sus aguas en el puerto de Ingeniero White y una tercera ubicada en el sector este de la empresa Profertil, a través del actualmente denominado "canal Profertil".

Los conductos que llevan sus aguas al estuario reciben el caudal a través de sumideros y de canales a cielo abierto. El sumidero es el lugar por donde el escurrimiento

urbano entra al sistema de desagüe. La función del sumidero es interceptar el escurrimiento del agua de lluvia y permitir el pasaje de la misma hacia el conducto que corre enterrado debajo del pavimento. Es un elemento importante al diseñar un sistema de drenaje urbano. La figura 8.1 muestra los distintos modelos de sumideros según Water Pollution Control Federation (1969).

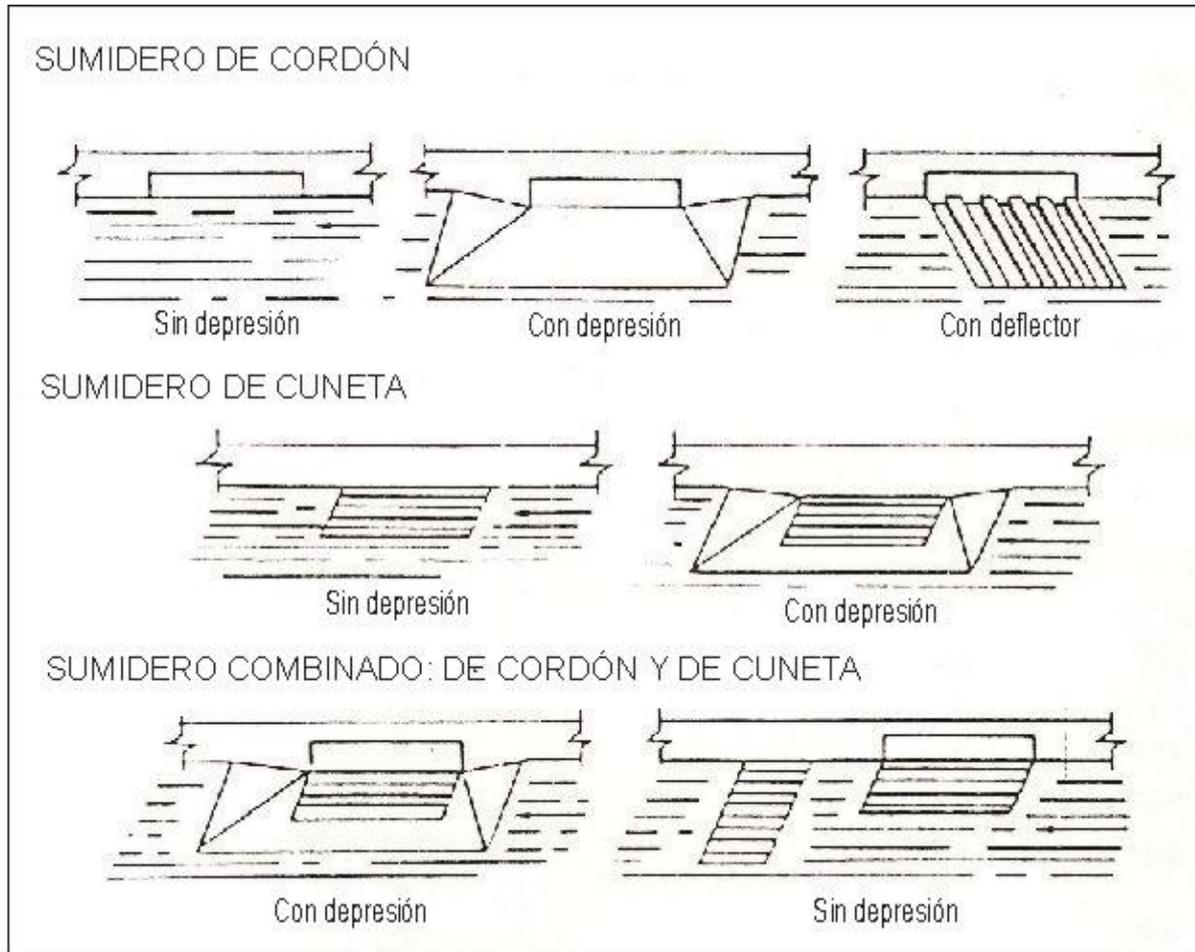


Figura 8.1. Modelos de sumideros.
Fuente: Modificado de Water Pollution Control Federation, 1969

Los sumideros usados en el área de estudio son de dos variantes: el sumidero de cordón sin depresión y sin reja y el combinado de cordón y de cuneta con reja. Los sumideros de cordón son de 2 a 3 m de largo por 20 cm de altura del cordón. Hay algunos sumideros de 1,20 m de largo en las calles que llegan en forma perpendicular a avenida San Martín (Fig.1.2). La gran mayoría de los sumideros son de hormigón exceptuando los que se encuentran en el área portuaria que son metálicos de 60 cm de largo por 20 cm de altura del

cordón. De este tipo son los que se encuentran en la calle Guillermo Torres desde Cárrega hasta la salida al estuario (Fig.1.2).

Fueron identificados y evaluados en el lugar en su estado todos los sumideros de la cuenca. Algunos de ellos se encontraron rotos y otros se encontraron tapados por basura como botellas de plástico, papeles, malezas, sedimentos, etc. (Fotografías 8.1 y 8.2).



Fotografía 8.1. y Fotografía 8.2. Sumideros de cordón sobre avenida Cabral.

Los sumideros requieren de permanente mantenimiento por sus roturas o por la basura que tapona el ingreso del agua. Los sumideros sin depresión tienen mejor rendimiento hidráulico que los deprimidos. La fotografía 8.3 es claro ejemplo de un sumidero de hierro sin mantenimiento ubicado sobre calle Guillermo Torres en el ingreso al puerto de Ingeniero White (Fig.1.2). La fotografía 8.4 muestra un sumidero de hormigón cuya entrada está semi – tapada por el borde del asfalto.



Fotografía 8.3. y Fotografía 8.4. Sumideros: metálico y de hormigón.

Existen en la zona de estudio algunos pocos sumideros combinados de cordón y de cuneta con reja que permiten la entrada del agua al ras del piso. Las figuras 8.5 y 8.6 son dos ejemplos de ellos que se localizan en calle Lautaro y en avenida Guillermo Torres respectivamente (Fig.1.2).



Fotografía 8.5. y Fotografía 8.6. Sumideros combinados de cordón y de cuneta con reja.

Las siguientes fotografías corresponden a sumideros ubicados en avenida San Martín (Fotografía 8.7) y en la avenida Guillermo Torres (Fotografía 8.8) (Fig.1.2). El sumidero de la fotografía 8.8 corresponde a un sumidero de cordón y de cuneta con reja sobre vereda. La rejilla sobre la cuneta ocupa sólo parte de la longitud del sumidero, al igual que los sumideros de las fotografías 8.5 y 8.6. Lo conveniente es que la longitud de la rejilla sea igual a la del sumidero. El modelo de sumidero de la Fotografía 8.8 no está en la clasificación del Water Pollution Control Federation (1969).



Fotografía 8.7. y Fotografía 8.8. Sumideros: de cordón y combinado con reja sobre vereda.

La localidad de Ingeniero White enviaba en sus comienzos, sus aguas pluviales al mar, a través de un canal con compuerta de contención ubicado en el lugar denominado Cangrejales. Este lugar se encuentra hoy ocupado por la empresa Profertil y el canal fue trasladado unos metros hacia la zona del puerto en los años 2001 – 2002.

La construcción de los primeros desagües pluviales en Ingeniero White datan de antes de 1963, fecha de presentación de los planos y conforman un tramo de conducto que se localiza a lo largo de la calle Guillermo Torres, al borde norte – noroeste de la red ferroviaria y limita la cuenca en su borde sur – sureste. Este conducto abre sus ramas sobre las calles Brown, avenida General San Martín, Lautaro y Juan Bautista Cabral donde el agua que discurre por la superficie entra a través de 52 sumideros o bocas de tormenta, que están detallados en el SIG, de los cuales uno está clausurado y dos están en malas condiciones (Fotografías 8.1 y 8.2) (Fig.1.2). Existe un tramo de desagües realizado con un conducto, que luego transfiere sus aguas a zanjas ubicadas a cielo abierto.

La otra salida al estuario figura en los mismos planos de 1963 cruzando la calle Rubado y las vías ferroviarias por calle Vélez Sarsfield, aquí se digitalizaron sobre el SIG 6 bocas de tormenta o sumideros. En el año 1997 se reconstruyeron los desagües pluviales en el tramo que va desde la calle Avenente hasta Guillermo Torres, sobre la avenida Cabral (La Nueva Provincia, 14 de julio de 1997) (Fig.1.2).

En 2001 se intentó descomprimir la entrada de agua desde las zonas altas en Ingeniero White, derivando la proveniente de los barrios Villa Rosas y San Martín hacia puerto Galván (La Nueva Provincia, 19 de abril de 2001) (Fig. 3.7). En enero de 2006 ya se contaba con esta obra (La Nueva Provincia, 15 de enero de 2006).

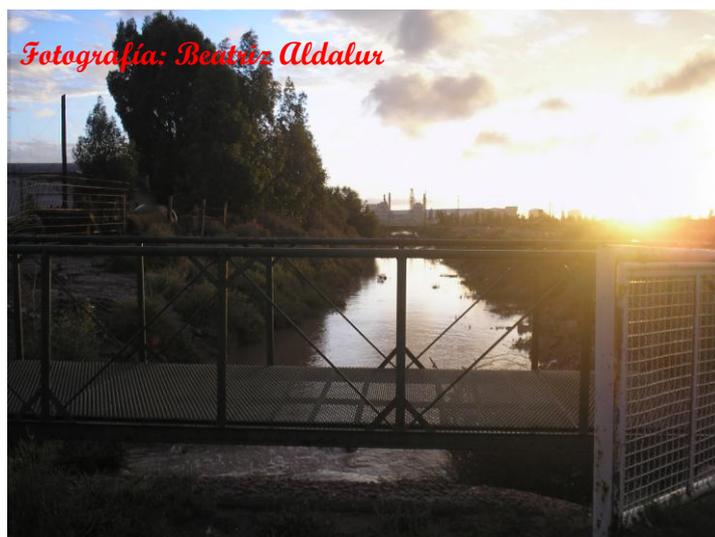
En abril de 2001 se encontraban finalizados los desagües pluviales de la calle Guillermo Torres en su cuenca baja y media (La Nueva Provincia, 20 de abril de 2001) (Fig.1.2). Para esta fecha estaba en etapa de construcción el colector pluvial de grandes dimensiones emplazado en la avenida General Arias en Villa Rosas.

En el año 2002 se mejoraron los desagües de la calle Guillermo Torres, cambiando los 2 caños de 800 mm por 2 caños de 1.200 mm (La Nueva Provincia, 29 de agosto de 2002). Para la misma fecha ya estaban concluidas las mejoras aportadas al desagüe pluvial ubicado en avenida Dasso, que desemboca en el estuario, en proximidades del predio de Profertil, luego de salir a un canal a cielo abierto (Fig.1.2).

Varios de estos canales a cielo abierto permiten el desagüe de los barrios Villa Rosas y de parte del barrio Villa Delfina (Fig. 3.7). La limpieza de los mismos no se realiza en forma continua por parte del municipio, por lo que los mismos se ven invadidos por material de desecho existente en las aceras y sedimentos arrastrados por el agua. El mismo efecto se produce sobre los sumideros, donde la basura (Fotografía 8.1, 8.2 y 8.3) no permite el total ingreso de las aguas meteóricas.

El mantenimiento de los cauces artificiales que conducen el agua de lluvia es un problema importante en la cuenca de estudio, algunos de ellos sufren de erosión y la gran mayoría de sedimentación. Los sumideros o bocas de tormenta y canales a cielo abierto, deberían ser limpiados en forma continua para que la basura que entra en ellos no frene el normal escurrimiento de las aguas pluviales.

El proyecto de pavimento del barrio 26 de Septiembre que involucra como ya se dijo a los planes de viviendas de SUPE, Junta Nacional de Granos, Achinelli, Vialidad y Prefectura, data de 1984 (Fig. 3.7). En el proyecto se detallan varias zanjas también a cielo abierto con proyecto de limpieza. En el caso de los canales a cielo abierto, el ubicado al noroeste del barrio 26 de Setiembre (Fig. 7.11), se encuentra en un gran porcentaje, cubierto por malezas (Fotografía 2.3). Este barrio posee en la actualidad sólo parte del pavimento realizado. Aquí existen 4 sumideros en muy buen estado, que vuelcan sus aguas a un conducto existente en la parte suroeste del barrio. Un canal a cielo abierto en buen estado de mantenimiento bordea este barrio por el lado sureste (Fotografía 8.9).



Fotografía 8.9. Canal a cielo abierto ubicado al sureste del barrio 26 de Setiembre.

Los canales a cielo abierto existentes en el área de estudio tienen agua en forma permanente debido a la baja pendiente que poseen. La baja pendiente provoca velocidades de circulación reducidas que promueven el estancamiento de las aguas.

Hay mucho material arrastrado por el agua que sedimenta y cambia la profundidad y el desnivel a los distintos canales. La basura es un parámetro recurrente en todos ellos. Muchos canales a cielo abierto terminan conectados a cañerías.

Los planos de proyecto de parte del barrio Villa Delfina datan de 1987 y no fueron realizados hasta la actualidad. Existen conductos sobre calle Ecuador hasta N. Levalle, con zanjas abiertas sobre calle Ecuador hasta el cruce con el ferrocarril.

Los dos conductos existentes en la actualidad en la zona portuaria, permiten la salida del agua meteórica. Estos conductos deben poseer válvulas de retención de clapetas, que son válvulas que se abren cuando fluye el líquido aguas abajo y se cierran cuando éste pretende entrar en la tubería, en otros casos se usan compuertas como el caso del canal Profertil (Fotografía 8.10).

Las válvulas de retención tienen la tarea de frenar las aguas de las altas mareas ya que se cierran en forma automática por aumento de presión cuando el agua pretende introducirse en los conductos proyectados para la salida del fluido. De entrevistas realizadas en el área de estudio sobre la existencia de estas válvulas surge que el conducto que desagua por calle Guillermo Torres no posee este sistema de control del agua de mar y el conducto que desagua en el muelle (Sitio 19) posee una compuerta que requiere mantenimiento permanente para evitar que el sistema se bloquee y deje de funcionar (Fig.1.2).

La fotografía 8.10 muestra la alcantarilla de caño de entrada al canal Profertil. Estas alcantarillas no son las más recomendadas pues como se observa en la fotografía, se tapan con malezas y basuras requiriendo mantenimiento permanente.

En los canales de baja velocidad de agua, la sección de la alcantarilla debe cubrir, en lo posible, toda la sección del canal. En este caso, las más recomendables son las alcantarillas de sección rectangular como la de la fotografía 8.11 que se encuentra emplazada a metros de la anterior sobre ruta de acceso al Polo Petroquímico. Estas alcantarillas de sección entera rectangulares permiten el paso del fluido en forma más rápida y necesitan menor mantenimiento (Murga, 2008).



Fotografía 8.10. y Fotografía 8.11. Cabecera del canal Profertil y alcantarilla sobre ruta.

En el año 2006 ya estaban terminados varios desagües a cielo abierto que aliviaron la salida del agua de lluvia hacia el mar. Para el año 2009 se proyectó el redimensionamiento y rectificación del último tramo del canal de 830 m existente en la zona ex Cangrejales, donde actualmente se encuentra la planta de Profertil, que evacua las aguas pluviales de la localidad portuaria de Ingeniero White (La Nueva Provincia, 15 de julio del 2008).

La ubicación de los distintos sumideros, los conductos y los distintos canales a cielo abierto del área de estudio, se pueden observar en la figura 8.2. En la tabla de atributos del SIG se cargó la información sobre cada conducto y canal, la denominación de los mismos puede verse en la figura 8.2 donde se detallan los canales (Ca) y los conductos (Co) que serán controlados en su capacidad, más adelante en este capítulo.

La ampliación que se observa en la figura 8.3 muestra el sector del casco viejo de Ingeniero White. Se eligió la ampliación en esta área por encontrarse en ella emplazados la gran mayoría de los sumideros y conductos.

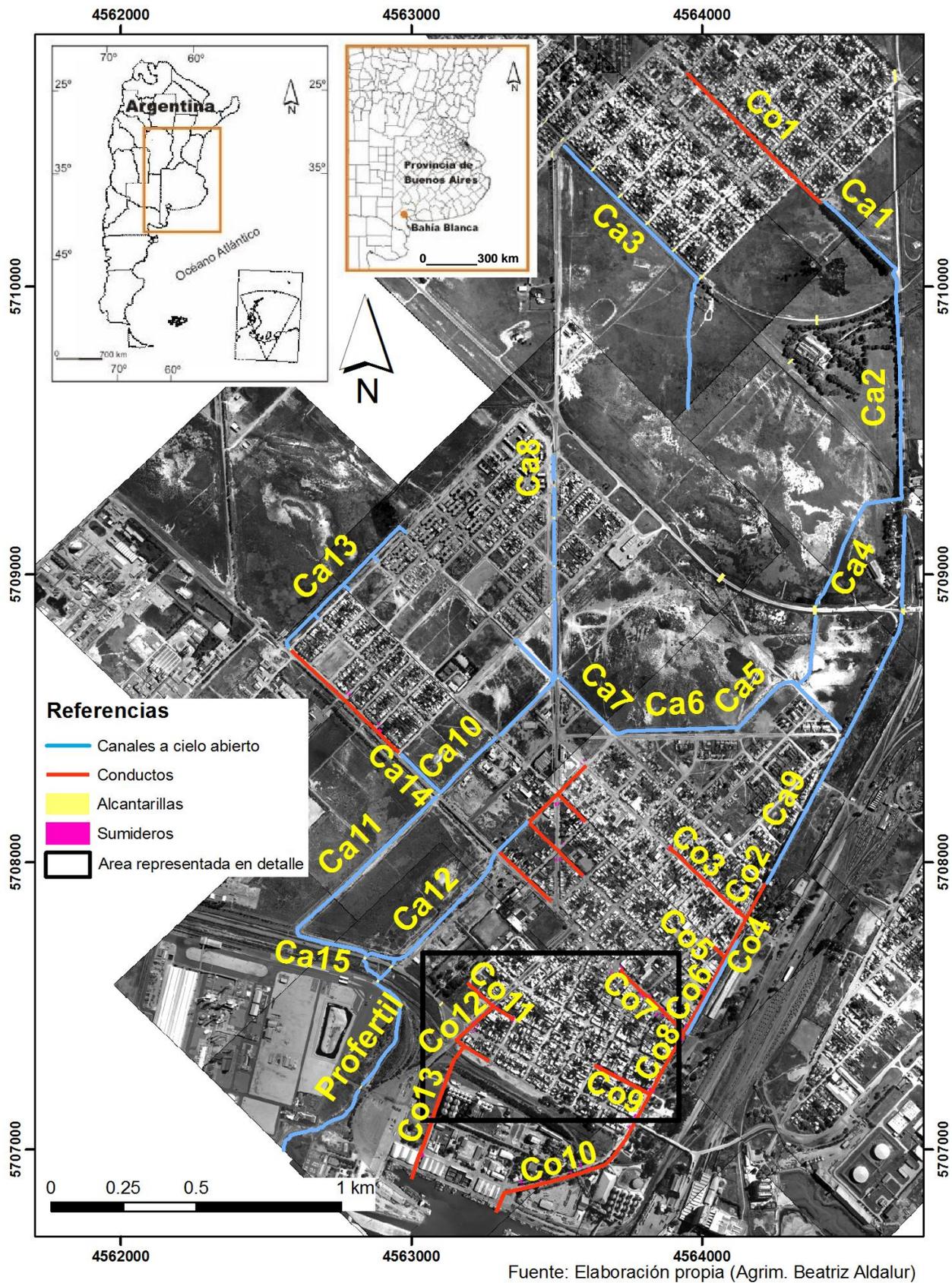


Figura 8.2. Ubicación de conductos pluviales, canales a cielo abierto, sumideros y alcantarillas.



Figura 8.3. Detalle ampliación área delimitada en la figura 8.2. Elaboración propia.

Toda la cuenca se halla conformada con 5.790 m de conductos o tuberías y 11.640 m de canales a cielo abierto que deben ser sometidos a continuas limpiezas para lograr que el agua fluya pendiente abajo. Los conductos y canales diagramados para llevar las aguas hacia el estuario copian el perfil del terreno natural por lo que tienen la misma pendiente.

Existe un canal a cielo abierto proveniente de los barrios Villa Delfina, Loma Paraguaya y San Martín que no pertenece al área de estudio pero que descarga sus aguas en los terrenos no urbanizados linderos a la cuenca en el sector noroeste donde se haya emplazado el barrio 26 de Setiembre (Fig. 7.11) y que corresponde a áreas no urbanizadas. Estos terrenos que hoy se encuentran baldíos, reciben las aguas de la parte alta. Cuando esta zona sea urbanizada, la cuenca de estudio puede verse afectada por un incremento en el caudal de agua. El emplazamiento de este canal puede observarse en la figura 8.7.

8.2. Red cloacal

Todos los frentes de las aceras involucradas en la cuenca tienen el servicio de cloacas. La red recorre toda la cuenca y recibe además las aguas servidas de otros barrios linderos como son San Martín y Villa Delfina (Fig. 3.7). Se la denomina también red de *aguas negras* para diferenciarla de la red pluvial denominada red de *aguas blancas*. En varias notas del diario local ante hechos concretos de inundaciones, la población manifiesta que “*el agua sale por las cloacas*” (La Nueva Provincia, 4 de abril de 1997) o “*llamamos a Asurix porque rebalsan las cloacas y nos dijeron que no tiene nada que ver*” (La Nueva Provincia, 19 de abril de 2001). La red cloacal funciona por gravedad y los conductos se calculan con un 25 % de exceso de caudal. En este porcentaje se consideran las entradas que pudiesen existir por la infiltración de las napas freáticas y que pueden introducirse en los conductos a través de filtraciones en las juntas. Se contempla también en este porcentaje las aguas de los techos y patios evacuadas a la cloaca por los vecinos (Murga, 2008).

En el área de estudio, la red cloacal termina en un único colector que entra en la planta de tratamiento de líquidos cloacales de ABSA ubicada a escasos metros del estuario, en la entrada al Polo Petroquímico sobre la ruta que conduce a Puerto Galván. El líquido es enviado al estuario luego de ser tratado, mediante bombas de desagote o bombas impulsoras. El conducto cloacal se une al que transporta las aguas pluviales hacia el mar, saliendo todo el fluido en el Sitio 19. La figura 8.4 muestra toda la red digitalizada sobre las fotografías aéreas. Se ubica en la cartografía, el emplazamiento de la planta depuradora de líquidos cloacales y el lugar donde la cañería se conecta con la red pluvial.

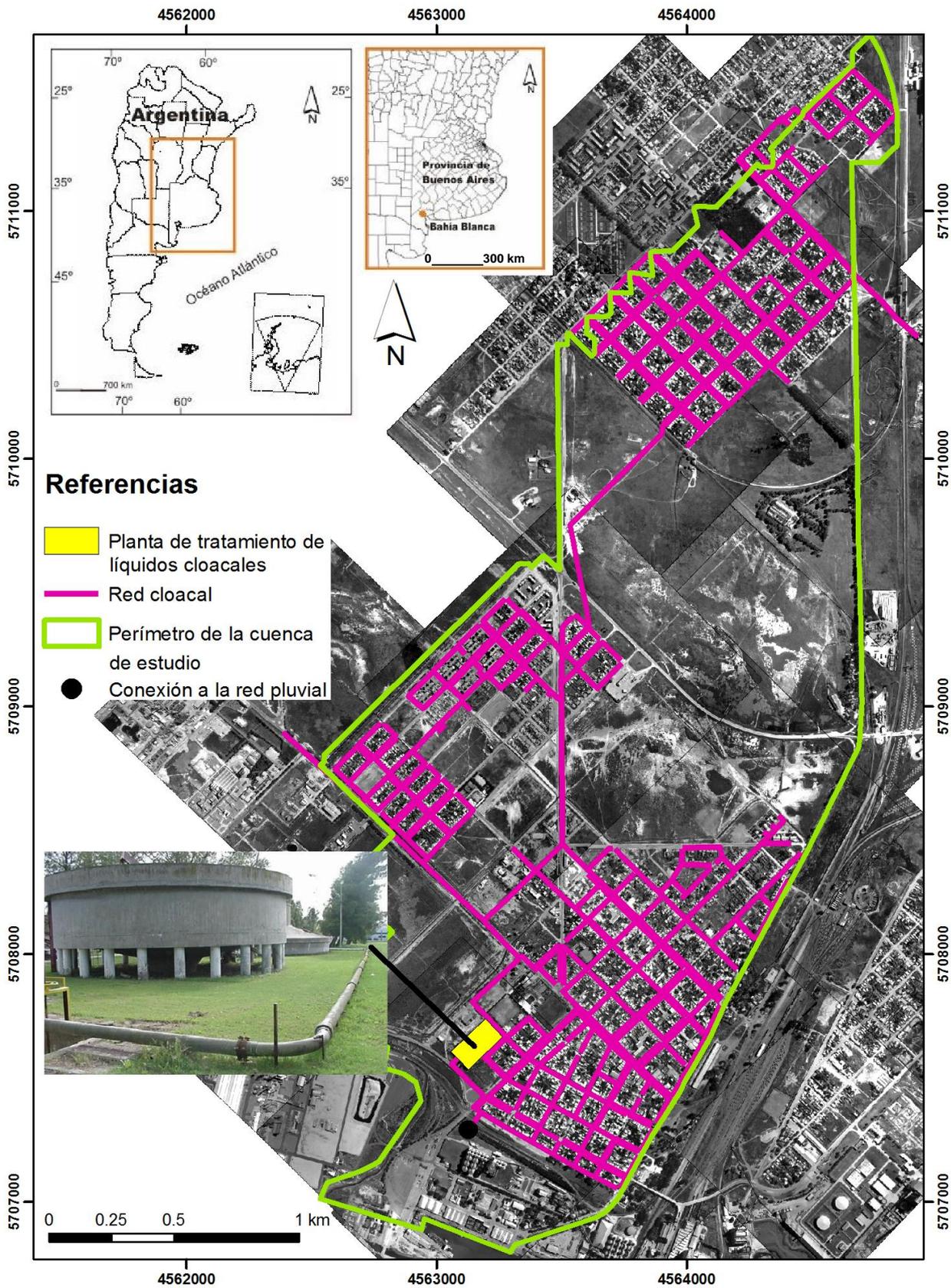


Figura 8.4. Ubicación de la red cloacal en el área de estudio.

La red cloacal posee cámaras de inspección en cada esquina. Por lo que hay acceso a estas cañerías a través de ellas ya sea para control o para limpieza. Es una realidad que muchos particulares conectan los desagües pluviales de los patios y techos de las casas a las cloacas aunque esto no esté permitido, con lo que llegado el caso de una gran lluvia, la red cloacal también puede verse saturada y los colectores pueden llegar a transportar aguas abajo más cantidad del fluido que lo normal. En consecuencia puede suceder que en caso de existir una sobresaturación por lluvias aguas arriba, sumados a otros factores, se desencadene lo que los habitantes del lugar manifiestan en el diario y que los líquidos salgan por las cámaras de inspección ya que el fluido escurriría bajo presión.

8.3. Diseño de cuencas

El método más utilizado para el estudio de cuencas urbanas es el método racional (Murga, 2003). Este método permite estimar el caudal de las crecidas. Logra un mejor ajuste en cuencas pequeñas (Senciales González, 1999) y es el método de cálculo exigido como norma para la presentación de proyectos de desagüe en la provincia de Buenos Aires (Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas - MOSP, 1995). La experiencia ha demostrado que el método racional sólo debe ser aplicado a cuencas menores de 13 km² ya que existe un desfase pequeño entre lluvias y caudal máximo y si bien tiene aplicabilidad en cuencas de hasta 100 km², se recomienda su uso en cuencas menores de 15 km² (Pérez Morales y Rodríguez Castro, 2009).

Según Castillo Sánchez (1989) este método es válido para pequeñas cuencas, estando su límite en 25 km², aunque los resultados son admisibles hasta 50 km². En el caso de la cuenca de estudio, el área total es de aproximadamente 6 km², con lo que se encuentra dentro de los límites aconsejados por los distintos autores.

Según Senciales González (1999) las previsiones llegan a superar la realidad en los aguaceros de mayor intensidad horaria, pero el método racional muestra un buen ajuste en aguaceros más usuales y sobre todo, como ya se dijo, en cuencas de dimensiones más reducidas. La red de conductos pluviales que transportará el agua de lluvia y el diseño de los alcantarillados de una cuenca determinada (Chow *et al.*, 1999) es calculada así utilizando la fórmula de caudal:

$$Q = 0,278 \cdot C.I.A$$

Q = caudal (m^3/s) es el gasto a la salida de la cuenca cuando alcanza el equilibrio, gasto máximo o de pico (Pérez Morales y Rodríguez Castro, 2009).

C = coeficiente de escorrentía, una constante que se obtiene a través de tablas utilizando como dato las características de la superficie drenada y que toma valores entre cero y uno ($0 \leq C \leq 1$).

I = intensidad de una lluvia que empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida hasta que toda la cuenca contribuya al flujo de salida (mm/h).

A = área de la cuenca (km^2).

El cálculo del caudal máximo es luego utilizado para diseñar canales, conductos o alcantarillas o para calcular niveles máximos de inundación (Departamento de Desarrollo Sostenible, 2009). Uno de los supuestos que utiliza este método es que el agua de lluvia es constante durante toda la tormenta y cae de igual manera en toda la cuenca. El caudal máximo para cada cuenca y subcuenca fue calculado como ya se mencionó, con el programa HidroEsta (Villón Béjar, 2008) que brinda los resultados a través del empleo del método racional.

8.3.1. Coeficiente de escorrentía

Es la variable menos precisa en este método. Es un coeficiente que depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y de las características de encharcamiento de la superficie. Se lo define como el cociente entre el caudal que escurre por la superficie, sobre el caudal total. Por ejemplo, superficies de asfalto producirán una escorrentía de casi el ciento por ciento. Este coeficiente depende también de las condiciones del suelo, de la intensidad de lluvia, del nivel freático, el tipo de suelo (porosidad y compactación) y de la vegetación (Chow *et al.*, 1999). Existen tablas que permiten su cálculo.

La Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – MOSP (1995) para la provincia de Buenos Aires, recomienda la utilización de coeficientes de escurrimiento acordes con el desarrollo urbanístico de la zona. No aconseja la utilización de coeficientes menores de $C = 0,40$ en zonas sin pavimento y de $C = 0,60$ en áreas pavimentadas. El trabajo de campo y el uso de fotografías aéreas fueron muy útiles en la estimación de la naturaleza de la superficie del área de drenaje. La información sobre la situación de las calles y el uso del suelo fue extraída del SIG, para lo cual fue previamente digitalizada. En la

figura 8.5 se observa la cartografía correspondiente a uno de los datos usados para el cálculo de este coeficiente: las calles que se encuentran asfaltadas y las de tierra.



Figura 8.5. Cartografía de calles asfaltadas, tierra y empedrado.

El uso del suelo fue tratado en el capítulo 7 y cartografiado en la figura 7.2. Se calcularon las distintas superficies que abarcan los diferentes usos del suelo existentes en cada cuenca y subcuenca. Esta tarea fue realizada en el SIG a través del modo consulta y de comandos que permiten realizar la superposición de las distintas capas.

En la tabla 8.1 se observa a modo de ejemplo el cálculo de coeficientes por el programa HidroEsta para la cuenca II. La columna destinada al área se encuentra expresada en hectáreas y fue calculada a través del SIG. El coeficiente calculado es el ponderado (es la suma de los coeficientes que surgen de multiplicar el porcentaje de superficie destinada a cada uso del suelo por el coeficiente para ese uso). Cada una de las diferentes cuencas y subcuencas ofreció una tabla similar que se adjuntan en el anexo III.

	Área (ha)	Uso del suelo	Coeficiente
1	7,7185	áreas comerciales céntricas	0,95
2	0,5000	áreas comerciales con vecindarios	0,70
3	11,3100	residenciales familiares simples	0,50
4	0,1714	multifamiliares separadas	0,60
5	0,5871	áreas industriales espaciadas	0,80
6	1,9710	campos de juego	0,35
7	21,9980	patios de ferrocarril	0,40
8	12,0750	calles asfaltadas	0,95
9	4,6310	estacionamientos	0,85
10	0,6862	campos de juego	0,35
Total	61,6482		
		C ponderado	0,63

Tabla 8.1. Coeficiente de escorrentía y superficie de los distintos usos para la sub-cuenca 2.

Los distintos coeficientes obtenidos a partir del programa HidroEsta ofrecieron resultados similares a los coeficientes que ofrecen las tablas tabuladas por Chow *et al.* (1999) lo que permitió convalidar el uso del programa.

8.3.2. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia (*I*) es la tasa promedio de lluvia en pulgadas por hora o milímetros por hora, para una cuenca o subcuenca de drenaje. El valor de *I* se elige con base en la duración de lluvia de diseño y el período de retorno. La duración de diseño es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración y el período de retorno se establece sobre la base de estándares de diseño. La escorrentía alcanza su pico

en el tiempo de concentración cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida (Chow *et al.*, 1999).

El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de salida, siguiendo el curso de los drenajes superficiales (Benítez, 1972). El tiempo de concentración de cualquier punto en un sistema de drenaje de aguas lluvias es la suma del tiempo de entrada (el tiempo que tarda en fluir desde el punto más alejado de la cuenca hasta la entrada del alcantarillado) y del tiempo de flujo en los alcantarillados localizados aguas arriba conectados al punto de salida:

$$t_0 + t_f = t_c$$

t_c = tiempo de concentración

t_0 = tiempo de entrada

t_f = tiempo de flujo

En otras palabras, es la suma del tiempo que tarda una gota en fluir desde el punto donde cae hasta que alcanza el sumidero, más el tiempo que transcurre desde que entra al sumidero hasta el punto de salida. A continuación se explican cada uno de los miembros de esta fórmula.

El tiempo de concentración propuesto por Kirpich y aconsejado por Pérez Morales y Rodríguez Castro (2009) y Senciales González (1999) es:

$$t_0 = \left[\frac{0,87 * L^3}{H} \right]^{0,385} \quad \text{para cuencas de área} < 50 \text{ km}^2$$

t_0 = es el tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal más largo hasta el punto de control (km)

H = desnivel entre el punto más elevado y el punto de control (m)

Se verificaron los valores de tiempo de concentración determinados por el programa HidroEsta para cada una de las cuencas y subcuencas a través de la aplicación de la

fórmula propuesta por Kirpich, brindando los mismos resultados. Por lo que esto permite evaluar la metodología aplicada por el programa para el cálculo de intensidad de precipitación máxima y tiempo de concentración.

El tiempo de flujo, que determina el retraso en el escurrimiento en los conductos se calcula:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

t_f = tiempo de flujo (h)

L = longitud del i -ésimo tubo a lo largo de la trayectoria de flujo (km)

V = velocidad del flujo en el tubo (Chow *et al.*, 1999) (km/h)

El tiempo de flujo es el empleado para el cálculo de los canales y conductos (que trabajan siempre por gravedad) por ser el tiempo que determina su retardo. Para la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – MOSP (1995) de la provincia de Buenos Aires en tiempos de flujo menores a un minuto, no se considera retraso. Deben ser tenidos en cuenta para tiempos de flujo mayores a un minuto.

Para el caso que no exista alcantarillado aguas arriba, el tiempo de entrada o tiempo de concentración se obtiene a través de tablas. El tiempo de entrada disminuye si se incrementa la impermeabilidad y la pendiente y aumenta si la distancia sobre la cual tiene que viajar el agua y la retención en las superficies de contacto crecen (Chow *et al.*, 1999).

Es importante conocer la intensidad de precipitación para el tiempo de concentración de la cuenca. Si se utiliza un tiempo menor, toda la cuenca no contribuirá al caudal y si se utiliza un tiempo mayor, la intensidad máxima será menor, ya que por ejemplo, la intensidad en mm/h, de las tres horas más lluviosas, siempre será menor que la hora más lluviosa. Para calcular el valor de la intensidad de la lluvia, se utilizan las denominadas *curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia*, diagramadas para cada zona en particular y que se explican más adelante.

8.3.3. Área de drenaje

Se debe calcular el área de drenaje que aporta a todo el sistema y el área de las distintas cuencas y subcuencas que contribuyen a cada uno de los puntos de entrada. Para determinar las líneas divisorias del drenaje hay que considerar las pendientes de los pavimentos, la localización de conductos subterráneos y de lugares muy pavimentados, la ubicación de espacios no pavimentados y la clase de vegetación existente sobre ellos. Se deben considerar todas las características introducidas por la urbanización que puedan influir en el diagrama de la cuenca (Chow *et al.*, 1999). Es conveniente aplicar este método a cuencas lo suficientemente pequeñas para que se pueda suponer una precipitación homogénea en el espacio y en el tiempo (Sánchez San Román, 2004).

En el capítulo 4 fueron calculados los valores de área y pendientes de todas las cuencas y subcuencas. En la figura 4.2 se obtuvo la ubicación de las mismas.

8.3.4. Período de retorno

Se puede definir al período de retorno como el número de años en que se espera nuevamente que se repita el efecto caudal o un caudal mayor y es la inversa de la probabilidad (Murga, 2008). El período de retorno más corto (bajo) utilizado en drenaje urbano es de 5 a 10 años (Chow *et al.*, 1999). La elección del período de retorno va a depender de muchos factores, los más importantes son el análisis del riesgo que se quiere correr en el diseño y el monto con que se cuenta para realizar la obra (Murga, 2008). Un período de retorno mayor es elegido cuando está en juego la posibilidad de que se inunde una obra de envergadura como un hospital, una usina, un polo petroquímico. Para el emplazamiento de ellas se busca calcular el desagüe pluvial para períodos de retorno superiores.

El hecho de elegir períodos de retorno mayores incrementaría el costo de las obras. Si el cálculo se realiza para un evento que se puede repetir a los 50 años o a los 100 años, los conductos, canales a cielo abierto, alcantarillas y sumideros serán de mayor porte, encareciendo así la obra. Aparicio Mijares (1997: 165) expresa “*que el grado óptimo de seguridad de una estructura depende, por un lado, de su costo y, por otro, del costo de las pérdidas asociadas con una falla*”. Así menciona como ejemplo la imposibilidad de aceptar un riesgo alto de falla en una presa situada aguas arriba de una ciudad, mientras que otras

insuficiencias en drenajes son aceptadas por causar sólo algunas molestias en los usuarios. Menciona que no es posible obtener una seguridad del 100 %, se debe hablar de aceptar un riesgo pequeño.

La Dirección provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – MOSP (1995) de la provincia de Buenos Aires, exige los siguientes valores mínimos para ser usados en los diseños:

2 años: conductos y obras accesorias a los mismos

5 años: verificación de canales

10 años: alcantarillas

25 años: puentes y caminos vecinales

100 años: rutas nacionales y provinciales.

En la hidrología de cuencas pequeñas, la descarga pico está relacionada con la intensidad de lluvia. A su vez, ésta está relacionada con el tiempo de concentración. Las áreas pequeñas tienen un tiempo de concentración corto y esto produce una intensidad alta y una descarga pico alta por unidad de área. Sin embargo, como el área es pequeña, la descarga pico es también pequeña. Por lo tanto, para áreas pequeñas, con tiempo de concentración medido en minutos, no es usualmente económico el diseñar para períodos de retorno largos (Ponce, 1989).

Los desagües de las cuencas se calculan en función del promedio histórico de grandes lluvias. No se diagrama una ciudad para un promedio histórico que recién se pueda repetir a los cien años, ya que resultaría muy costoso su puesta en práctica (Linares, 2001). El hecho de elegir períodos de retorno cortos por ejemplo cinco años, implica aceptar que pueda suceder un evento de lluvia no pensado, un evento que se repita después de muchos años.

El diseño de los drenajes es el cálculo del diámetro de los conductos, de los sumideros, de las alcantarillas y de las secciones de los cauces a cielo abierto. Se hace en función del caudal calculado sobre la base del tiempo de retorno elegido. Si el tiempo de retorno es grande, por ejemplo 50 años, el cálculo implica infraestructura más costosa, porque se realiza para un evento de lluvia que se supone sucede cada 50 años y existe la posibilidad de que los conductos que hay que diagramar sean demasiado grandes. Chow *et*

al. (1999) aconseja utilizar tiempos de retorno no mayores a diez años para el cálculo de los drenajes urbanos.

Para el caso de la cuenca de estudio, se utilizó un tiempo de retorno de 5 años, como es exigido por la legislación vigente de la provincia de Buenos Aires. Este dato permitió extraer los distintos valores de intensidad de lluvia (I) para la ciudad de Bahía Blanca a partir de la curva IDF (Fig. 8.6; Tabla 8.2).

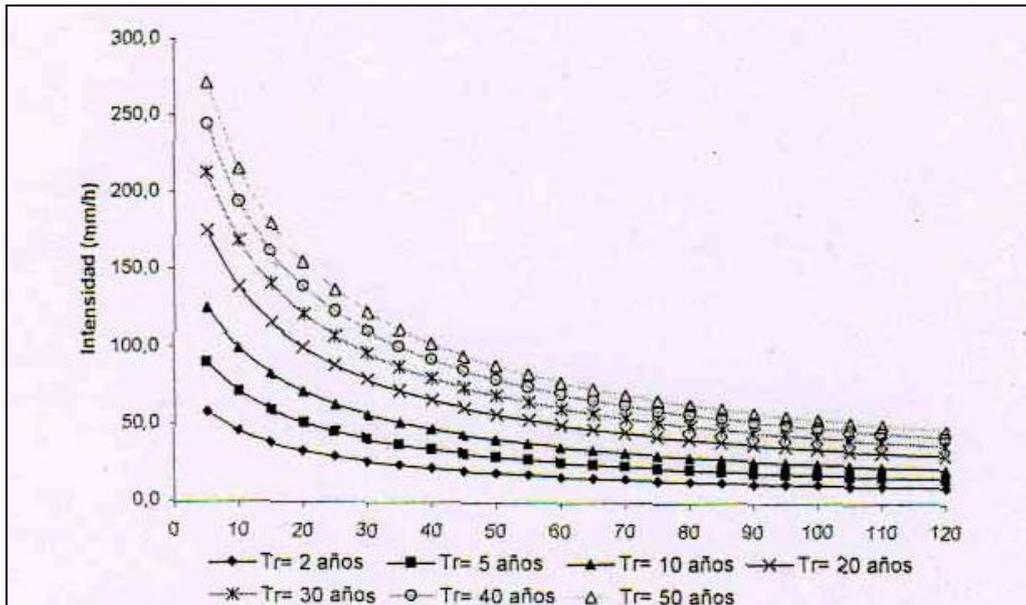
8.3.5. Relaciones de Intensidad- Duración-Frecuencia

La determinación de eventos de lluvia es uno de los primeros pasos a seguir en el cálculo de un diseño de drenaje urbano. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias. En muchos casos hay curvas estándar disponibles para el lugar de estudio (Chow *et al.*, 1999).

Estas curvas permiten el cálculo de la intensidad de lluvia (I) que se introduce luego en la fórmula que emplea el método racional, mencionada en el punto 8.3. Son curvas que varían según el lugar donde se aplique el método, ya que el régimen de lluvias no es el mismo para cada sitio. Preferentemente, se deben utilizar los registros de precipitaciones locales.

Sequeira (2006) diagramó estas curvas para la ciudad de Bahía Blanca a partir de 248 lluvias de gran intensidad y corta duración y de moderada intensidad y larga duración ocurridas en la Estación Meteorológica Bahía Blanca dependiente del Servicio Meteorológico Nacional y registradas desde el 04/05/51 al 12/03/88 (Fig. 8.6).

Los datos se presentan en forma gráfica. A partir de la variable “duración” en minutos ubicada en el eje horizontal y de las distintas curvas que corresponden a los distintos períodos de retorno se puede extraer la intensidad (I) ubicada en el eje vertical. Se elige el período de retorno con el que se va a calcular el caudal de escurrimiento en la cuenca y se van extrayendo los datos de I para los distintos tiempos de una precipitación de diseño.



**Figura 8.6. Relaciones *intensidad, duración y frecuencia* para Bahía Blanca.
Fuente: Sequeira, 2006.**

Las curvas de la figura 8.6 responden a la siguiente ecuación formulada por Sequeira (2006):

$$I = \frac{(372,6613 * Tr)^{0,4786}}{(D + 10)^{0,8072}}$$

I = intensidad (mm/h)

D = duración (h)

Tr = intervalo de Recurrencia (años)

La Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – MOSP (1995) de la provincia de Buenos Aires establece que para la elaboración de los proyectos de desagües se deben utilizar las curvas IDF de uso en el lugar donde se ejecutan las obras. Si no se contase con ellas dichos datos deben ser requeridos al Servicio Meteorológico Nacional.

Como el caudal que escurre superficialmente no es el caudal instantáneo, ya que existe infiltración en el terreno, depresiones en la topografía, forestación, etc., no se consideran los caudales para los primeros 5 o 10 min según el caso (American Society of Civil Engineers, 1985). La Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – MOSP (1995) de la provincia de Buenos Aires proyecta con tiempos de 5 min.

La tabla 8.2 muestra los distintos valores de intensidad de lluvia extraídos de las curvas IDF para Bahía Blanca según Sequeira (2006). Se debe calcular la intensidad de lluvia máxima para cada cuenca y subcuenca. Este valor de precipitación máximo es el que permite el cálculo del caudal que luego contribuye al caudal de toda la cuenca.

	T (años)	Duración (min)	I max (mm/h)
1	5	5	90
2	5	10	72
3	5	15	60
4	5	20	52
5	5	25	46
6	5	30	41
7	5	35	37
8	5	40	34
9	5	45	32
10	5	50	29
11	5	55	28
12	5	60	26
13	5	80	21
14	5	100	18
15	5	120	16

Tabla 8.2. Período de retorno, duración e intensidad de lluvia.
Fuente: Sequeira, 2006.

8.3.6. Cálculo de caudales

Sobre la base de los resultados obtenidos al incorporar la información precedente al programa HidroEsta y utilizando la información a escala de subcuenca, se obtuvo el cálculo de caudales para un período de retorno de 5 años. En la tabla 8.3 se presentan los resultados C, I y Q para cada una de las 28 cuencas y subcuencas de Ingeniero White. El caudal para el área total o para toda la cuenca es de 22,41 m³/s. Se acompañan ventanas del programa HidroEsta en el anexo IV.

Cuenca	Sub-cuenca	C	I max.(mm/h)	Q max.(m ³ /s)
I	-	0,63	19,36	1,66
II	-	0,63	35,40	3,78
III	1	0,48	28,31	1,51
III	2	0,49	37,31	0,35
III	3	0,68	40,07	0,38
III	4	0,59	45,84	0,81
III	5	0,63	79,07	0,14
III	6	0,62	80,16	0,14
III	7	0,53	46,97	0,27
III	8	0,33	33,44	0,94
III	9	0,35	22,70	4,64
III	10	0,57	34,91	0,81
III	11	0,64	34,37	0,67
III	12	0,33	73,12	0,60
III	13	0,52	31,06	0,45
III	14	0,64	75,51	0,13
III	15	0,59	39,04	0,26
III	16	0,43	39,55	0,65
III	17	0,53	42,78	0,25
III	18	0,68	79,56	0,30
III	19	0,42	64,04	0,52
III	20	0,63	41,54	0,36
III	21	0,61	46,31	0,39
III	22	0,62	30,30	0,41
III	23	0,68	57,70	0,11
III	24	0,47	41,73	0,27
III	25	0,35	57,35	0,44
III	26	0,37	28,57	1,18
Total				22,41

Tabla 8.3. Cálculo de caudales para un período de retorno de 5 años.

8.3.7. Verificación de conductos y canales existentes

La información de las pendientes de los canales a cielo abierto y de los conductos (extraída de los planos de proyectos de pavimento e incorporada al SIG) y la información del caudal calculado en el punto anterior permitió verificar las secciones que deben tener los diferentes desagües pluviales de cada cuenca y subcuenca para poder trasladar por gravedad el agua hacia el estuario. No hay información sobre el tiempo de retorno para el

que fueron calculados estos conductos para lo cual se usó el de 5 años como lo expresa el reglamento vigente explicado en el ítem 8.3.4.

Para la verificación mencionada se utilizó el programa HCanales (Villón Béjar, 1994). Este programa se emplea para el diseño de canales y estructuras hidráulicas. Trabaja con los datos antes mencionados y aplica la ecuación de Manning (Chow *et al.*, 1999) transcrita a continuación. La primera fórmula permite calcular los valores de ancho y alto de un canal y la segunda el diámetro de los conductos:

$$Q = \frac{1}{n} * \sqrt{S} * A * R^{2/3}$$

Como $R = \frac{A}{P} = \frac{\pi * D^2}{4\pi * D} = \frac{D}{4}$ se reemplaza R en la fórmula anterior y se tiene:

$$D = \left(\frac{3,21 * n * Q}{\sqrt{S}} \right)^{3/8}$$

Q = caudal (m³/s)

D = diámetro conducto (m)

S = pendiente

n = coeficiente de rugosidad de Manning (en el sistema técnico su dimensión es s/m^{1/3})

A = área de la sección del conducto (m)

R = radio hidráulico (m)

P = perímetro del conducto (m)

El coeficiente de rugosidad de Manning fue extraído de la tabla elaborada para canales de diferentes clases. Es una tabla que muestra valores mínimos, normal y máximo de n. Los valores normales para canales artificiales se recomiendan sólo para canales con buen mantenimiento (Chow, 1998). Parte de la tabla se agrega en el anexo V. En el anexo VI se adjuntan ventanas del programa HCanales.

El resultado de n extraído de esta tabla es: 0,013 para hormigón y 0,025 para canal de tierra. En la tabla 8.4 se muestran los resultados de la verificación realizada. Se brindan los diámetros de los conductos y la altura y ancho de los canales. La ubicación de cada canal y conducto se detalla en la figura 8.2.

Conducto (Co) o canal (Ca)	Q (m ³ /s)	Pendiente	Coficiente de Manning	Diámetro Φ (m)	Ancho b (m)	Alto h (m)	Información: construido
Co1	3,328	0,001300	0,013	1,65		1,370	-
Ca1	3,600	0,003600	0,025	-	1,20	0,910	-
Ca2	4,070	0,004400	0,025	-	1,30	0,900	-
Ca3	0,469	0,002600	0,025	-	1,20	0,340	-
Ca8	2,800	0,003700	0,025	-	1,80	0,687	-
Ca4	5,280	0,002400	0,025	-	2,80	0,900	-
Ca5	3,240	0,001200	0,025	-	2,80	0,830	-
Ca10	7,210	0,001300	0,025	-	3,50	1,135	-
Ca11	7,210	0,000260	0,025	-	5,00	1,500	-
Ca11	7,820	0,001200	0,025	-	4,00	1,140	-
Ca12	1,790	0,000700	0,025	-	2,00	0,870	-
Ca9	2,800	0,000840	0,025	-	2,45	0,900	-
Co2	2,800	0,000840	0,013	1,70	-	1,360	-
Co3	0,170	0,001000	0,013	0,60	-	0,440	0,6
Co4	2,970	0,000920	0,013	1,70	-	1,380	-
Co5	0,137	0,002400	0,013	0,60	-	0,284	0,6
Co6	3,400	0,000990	0,013	1,80	-	1,380	1,2
Co7	0,294	0,002200	0,013	0,60	-	0,480	0,8
Co8	3,690	0,001000	0,013	1,80	-	1,500	1,2
Co9	0,182	0,001600	0,013	0,60	-	0,380	0,6
Co10	3,870	0,001000	0,013	1,80	-	1,620	1,2
Co11	0,388	0,000800	0,013	0,80	-	0,690	0,6
Co12	0,388	0,001100	0,013	0,75	-	0,660	-
Co13	1,150	0,001100	0,013	1,20	-	0,880	1,6
Ca13	1,120	0,000400	0,025	-	-	0,820	-
Ca14	0,652	0,003800	0,025	-	1,50	0,400	-
Ca15	1,380	0,001170	0,025	-	1,00	0,700	-
Proyectado	3,860	0,000296	0,013	1,75	1,50	1,530	Proyectado

Tabla 8.4. Resultados obtenidos de cálculos de conductos y canales.

De la verificación realizada se observó que algunos conductos colocados son de diámetros o secciones inferiores y otros de diámetros superiores de acuerdo con los caudales calculados. En la tabla 8.4 se agrega un conducto proyectado que uniría los dos desagües pluviales a la altura de la calle Rubado y que continuaría hasta desaguar en el canal Profertil. La salida de los desagües pluviales al estuario se haría así por este canal, debiendo clausurarse las dos salidas existentes en la actualidad. La ubicación de este canal proyectado puede verse en la figura 8.7.

La red de drenajes del área de estudio fue diagramada en distintas épocas y etapas. El crecimiento urbano hizo que se superen los caudales para los que fueron calculados. Si bien en algunos tramos éste ha sido mejorado, como son los canales a cielo abierto realizados en los últimos años, la mejora en el canal Profertil y el cambio de conductos pluviales en la calle Guillermo Torres, se observa que todas estas obras realizadas para solucionar los problemas existentes en el área, no han surgido de un estudio global del área.

8.4. Cálculo de precipitación neta

En función del tipo de suelo determinado en el Capítulo 3 y del uso del suelo actual cartografiado en el Capítulo 7 se calculó el volumen del escurrimiento directo por la metodología del Número Hidrológico comúnmente denominado método del Número de Curva (Chow *et al.*, 1999) para una tormenta determinada. Este método fue desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) (1972) del United States Department Agriculture. Es un método sencillo para la estimación del valor de escurrimiento superficial provocado por una lluvia dada (Puricelli, 2008).

La importancia de su utilización radica en que permite incorporar los cambios en el uso de la tierra y adaptar los coeficientes utilizados según el porcentaje de urbanización existente. Trabaja con la tormenta como un todo y determina la escorrentía directa, que siempre será menor o igual a la profundidad de la precipitación (Chow *et al.*, 1999). Analiza la diferencia de potencial real entre precipitación y escorrentía a partir de la máxima retención de agua en el suelo (Senciales González, 1999). Puede aplicarse para determinar el incremento en la cantidad de escorrentía que se origina por la urbanización (Chow *et al.*, 1999). Existen numerosos modelos hidrológicos que lo aplican entre ellos el paquete de análisis hidrológico HEC (Hydrologic Engineering Center) (USACE, 2001) y SWMM (Storm Water Management Model) (USEPA, 1971).

Luego de una precipitación, parte del agua infiltra, evapora o queda como retención superficial. Esta cantidad de agua no genera escorrentía y se las denomina pérdidas o “*abstracciones*” (Chow *et al.*, 1999). Este método supone que el suelo retiene una cierta cantidad de agua al principio, la cual va disminuyendo con el tiempo. La precipitación y el escurrimiento se vinculan por medio de una relación entre los valores reales y los potenciales de escurrimiento. Para calcular la precipitación en exceso, que no es retenida por las distintas capacidades de los suelos se utiliza la ecuación:

$$P_e = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,85.S} \quad \text{para un valor de } I_a = 0,2S \text{ y } P_e \geq 0,2S$$

$$P_e = 0 \quad \text{si } P_e < 0,2S$$

Y donde:

I_a = abstracción inicial antes del encharcamiento, no existe escorrentía.

P_e = precipitación neta (mm)

P = precipitación total registrada (mm)

S = abstracción inicial (dato tabulado en función del tipo y uso del suelo, se encuentra modificado si los días anteriores a la precipitación fueron muy húmedos o muy secos)

El valor de "S" se relaciona con el coeficiente CN, para valores de precipitación en mm con la siguiente fórmula:

$$CN = 25400 / (254 + S) \quad \text{o}$$

$$S = 25400 / CN - 254$$

El coeficiente CN es un número que representa capacidad de escorrentía de un suelo, en función de su uso y su tipo. Es adimensional y su valor está comprendido entre cero y cien. Para superficies impermeables el valor es igual a 100 y para superficies naturales el valor es menor que cien (Chow *et al.*, 1999). La tabla 8.5 permite el cálculo del coeficiente CN en función de los cuatro grupos de suelo mencionados en el Capítulo 3 y según el uso de la tierra.

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al				
75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueados pavimentados techos y accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Tabla 8.5. Números de Curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II). Fuente: Chow *et al.*, 1999.

Este valor se tabuló para condiciones normales de humedad, AMC II (Antecedent Moisture Conditions). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III) se pueden calcular los números equivalentes (Chow *et al.*, 1999).

$$CN(AMCI) = \frac{4,2CN(AMCII)}{10 - 0,058CN(AMCII)} \quad (\text{condición antecedente: seca})$$

$$CN(AMCIII) = \frac{23CN(AMCII)}{10 + 0,13CN(AMCII)} \quad (\text{condición antecedente: húmeda})$$

En la tabla 8.6 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase para este método de abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (mm)		
	Estación inactiva	Estación de crecimiento	Descripción
I	< 12,7	< 35,56	Alto grado de drenaje
II	12,7 - 27,94	35,56 - 53,34	Moderado
III	> 27,94	> 53,34	Bajo grado de drenaje

Tabla 8.6. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método del SCS.
Fuente: Modificado de Chow *et al.*, 1999.

Es aconsejable calcular un CN ponderando los distintos usos y coberturas del suelo, en la cuenca. Para ello se utilizó como base la tabla de atributos del uso del suelo actual digitalizado en el SIG. En ella se encuentran discriminados los distintos usos y coberturas, del área de estudio, de donde se extrajo la superficie en metros cuadrados que ocupa cada una y se calculó el porcentaje de ellas sobre el total. La discriminación de los distintos usos se confeccionó sobre la base de las fotografías aéreas del año 2005 y el posterior control de campo (Capítulo 7). Ese valor porcentual de cobertura fue multiplicado por el valor CN extraído de la tabla para cada tipo de cobertura y en función del tipo de suelo (Tabla 8.7).

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo: C		
	CN	%	Producto
Pastizales: condiciones pobres	86	40	34,40
Áreas abiertas: cubierta de pasto en el 50 al 75 %	79	3	2,37
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	94	1	0,94
Distritos industriales (72 % impermeables)	91	4	3,64
Residencial 1/8 acre o menos (65 % impermeable)	90	3	2,70
Residencial 1/4 acre o menos (38 % impermeable)	83	22	18,26
Parqueados pavimentados, techos, accesos, etc.	98	1	0,98
Calles y carreteras: pavimentadas con cunetas y alcantarillados.	98	13	12,74
Calles y carreteras: grava	89	13	11,57
		100	87,60

Tabla 8.7. Cálculo de CN para el área de estudio. Valor ponderado. Elaboración propia.

Se obtuvo el CN ponderado para la condición AMC II. Se calcularon los valores de CN para las otras dos condiciones de AMC que se presentan en la tabla 8.8. En la misma tabla también se encuentra calculado el valor de S.

Variables	Condiciones de humedad		
	AMC I	AMC II	AMC III
CN Número de Curva	74,8	87,6	94,2
S Potencial de retención (mm)	85,6	35,9	15,6

Tabla 8.8. Valores de CN y S para toda la cuenca en las 3 condiciones de humedad.
Elaboración propia.

Los valores de potencial de retención de lluvia varían para las tres condiciones de humedad. Para la condición seca el valor asciende a 85,6 mm y para la condición húmeda alcanza sólo 15,6 mm. La condición normal retiene 35,9 mm de lluvia. Estos valores presentan diferencias muy notables y es importante contrastar el resultado teórico con la realidad. Para ello se trabajó con valores reales de precipitación y se calculó luego el porcentaje de escorrentía.

El cálculo de la precipitación efectiva o escorrentía, se realizó para las tres condiciones de humedad. Se eligieron los registros de lluvia que pertenecen a los días de máxima precipitación en cada estación, para los años 1991 – 2000. Pueden desestimarse los aguaceros menores a 50 mm por el bajo porcentaje de escorrentía que generan (Senciales González, 1999). Se trabajó con información de los días: 6 de mayo de 1994 (76,7 mm), 16 de junio de 1992 (125 mm), 16 de setiembre de 1992 (67 mm) y 6 de diciembre de 1996 (64 mm). Los datos fueron extraídos de los valores máximos de precipitación diaria que brinda del Servicio Meteorológico Nacional para los años 1991 – 2000 (SMN, 2002). Los resultados se muestran en la tabla 8.9. Los mismos valores fueron convertidos en porcentaje y se presentan en la tabla 8.10.

Estación	Fecha	P (mm)	Pe (AMCI) (mm)	Pe (AMCII) (mm)	Pe (AMCIII) (mm)
Otoño	6 de mayo de 1994	76,7	23,7	45,1	60,2
Invierno	16 de junio de 1992	125	58,8	89,2	107,4
Primavera	16 de setiembre de 1992	67	17,8	36,7	50,8
Verano	6 de diciembre de 1996	64	16,1	34,1	48

Tabla 8.9. Precipitación efectiva o neta para distintos valores de precipitación total según las condiciones del suelo. Elaboración propia.

Estación	Fecha	P (mm)	Porcentaje de escorrentía (%)		
			Pe (AMCI)	Pe (AMCII)	Pe (AMCIII)
Otoño	6 de mayo de 1994	76,7	31	59	78
Invierno	16 de junio de 1992	125	47	71	86
Primavera	16 de setiembre de 1992	67	27	54	75
Verano	6 de diciembre de 1996	64	25	53	75

Tabla 8.10. Precipitación efectiva o neta para distintos valores de precipitación total según las condiciones del suelo. Elaboración propia.

Senciales González (1999) destaca que la infiltración de un suelo seco si bien es baja al comienzo de una lluvia, aumenta rápidamente poco después, con lo cual la condición de humedad del suelo se puede alterar cambiando desde AMCI a AMCII e incluso AMCIII. El

suelo seco puede infiltrar considerables volúmenes de precipitación pero a partir de los 50 mm de lluvia este autor lo considera un volumen suficiente como para saturar el suelo y generar escorrentías importantes. Esto cambiaría la condición real del suelo dejando de ser I para pasar a II o a III.

La escorrentía que se produce en la condición más seca varía del 25 % para los 64 mm, al 47 % para la tormenta de 125 mm (Tabla 8.10). En condiciones normales, los valores son del 53 % para los 64 mm hasta el 71 % en el valor de lluvia de 125 mm. En condiciones de humedad, existe un notable incremento en los valores de escurrimiento, ya que se observa un de 75 % para los valores de 64 a 67 mm, un 78 % para los casi 80 mm y un 86 % para los 125 mm de lluvia. El cambio en la escorrentía que se origina por el cambio de las condiciones antecedentes de humedad de la condición AMCII a la AMCIII, marca un incremento del 15 % para los 125 mm y un 22 % para los 64 mm.

En síntesis, categorizando al suelo en la condición normal AMCII el área posee un valor de escorrentía del 53 % o superior. Si se lo ubica en la condición húmeda AMCIII el área posee un valor de escorrentía del 75 % o mayor. En este caso, para lluvias de 64 mm la capacidad de absorción se reduce al 25 %.

8.5. Estaciones de bombeo

Existen ejemplos donde se colocaron estaciones de bombeo, para evitar las inundaciones que se originaron por el ingreso de las aguas por la red pluvial y el borde costero, como es el caso del Riachuelo en la ciudad de Buenos Aires. Los eventos se sucedían con situaciones climáticas vinculadas a vientos intensos y constantes de dirección Sureste (Sudestada), situaciones que siempre estuvieron acompañadas por precipitaciones en la cuenca (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2010).

Las estaciones de bombeo, poseen sensores que activan el funcionamiento de la bomba, al sobrepasar determinada altura. En las costas, para evitar la entrada del mar y para proteger el área de eventos en que se suceden importantes precipitaciones y altas mareas, se construyen terraplenes a una altura de máxima cota de marea y se colocan bombas que comienzan a bombear cuando el sensor actúa (Murga, 2008).

Siguiendo con el ejemplo mencionado, el sistema Boca – Barracas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, consta de 7 estaciones de bombeo, cada una asiste a una subcuenca del sistema general, conformando de esta manera con el colector que la alimenta

un sistema independiente en cuanto a desagüe pluvial. Cada estación está integrada por bombas, compuertas hidráulicas, sistema de limpia rejas, ataguías o material arcilloso utilizado para atajar el paso del agua, puente grúa y todo el equipamiento eléctrico necesario para la operación (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2010). Gentile y González (2001) estudiaron este caso analizándolo desde la teoría social del riesgo.

Las estaciones de bombeo se colocan para extraer el agua en momentos en que sucede una inundación. Estas bombas se ubican a una altura tal, que no sea alcanzada por el agua de una pleamar por ejemplo y deben tener una potencia calculada en función del caudal máximo, de la altura que se quiere bombear el agua donde se deben considerar también las pérdidas de energía por fricción y del peso específico del líquido.

Fuschini Mejía (1994) recomienda que las ciudades se provean de un cinturón de defensas que impida la inundación desde el exterior y uno o varios equipos de bombeo que permitan evitar el anegamiento por agua interna. Esa agua interna deberá conectarse a las redes pluviales para ser llevada a una planta de bombeo y de ahí hacia el exterior.

A partir de la posible solución que surge del ítem 8.3.7 y que detalla el proyecto de un nuevo conducto que uniría los dos conductos pluviales ubicados en Ingeniero White, se proyecta la ubicación de tres estaciones de bombeo: una sobre el canal Profertil y las otras dos en la actual salida de los dos conductos pluviales.

La bomba que se ubica sobre el canal Profertil desagotaría el agua en exceso proveniente de toda la zona baja donde se encuentra emplazada la ciudad de Ingeniero White y las otras dos desagotarían el líquido que podría quedar en el área portuaria al cerrar las dos salidas al estuario. La información de base para el cálculo de la potencia de las posibles bombas a colocar en el área de estudio se puede obtener con el trabajo de esta tesis y el emplazamiento de las posibles estaciones de bombeo se puede observar en la figura 8.7.

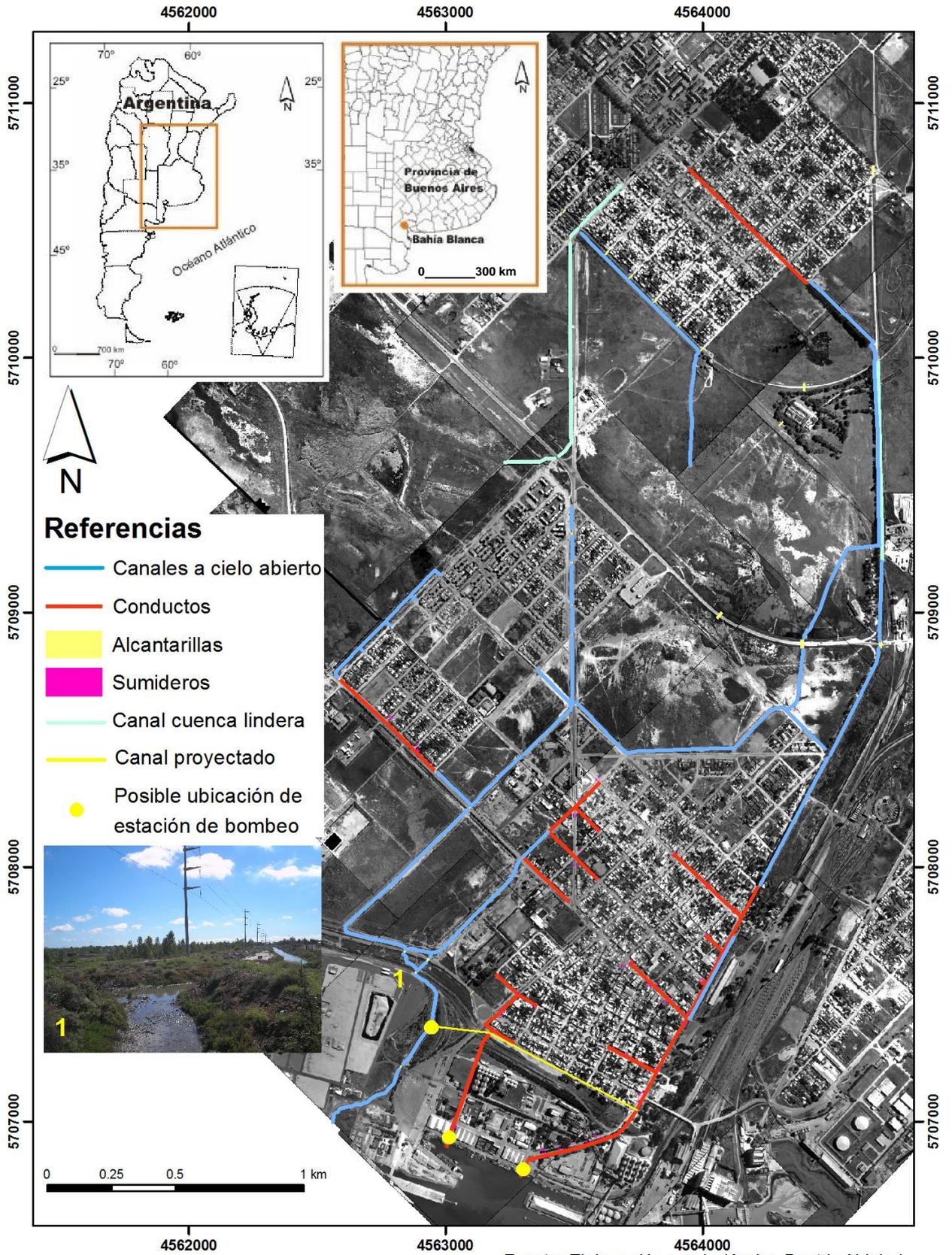


Figura 8.7. Ubicación del canal proyectado y de las posibles estaciones de bombeo.

En síntesis, se han realizado muchas obras en el área con el fin de solucionar problemas puntuales, no hay un proyecto de desagües pluviales desde el origen de la fundación de la ciudad. Los desagües pluviales que se encuentran obsoletos son renovados en forma aleatoria, sin un estudio global de la cuenca. El crecimiento urbano ha superado la inversión en desagües pluviales.

El incremento del volumen de escorrentía y el aumento de los caudales máximos a evacuar fue consecuencia de la impermeabilización del suelo. La pavimentación de las calles en las zonas altas de la cuenca hizo que el agua llegue en forma más rápida a su desembocadura ya que el área donde hay más superficie edificada y pavimento genera mayor caudal a la hora de una gran precipitación, por lo que hay menor caudal infiltrado. Según el análisis realizado mediante el método del Número de Curva se puede afirmar que el área posee un valor de escorrentía muy alto ya que para condición de humedad alcanza el 75 % o mayor. Se reduce así la capacidad de absorción para lluvias de 64 mm.

En caso de existir una sobresaturación por lluvias aguas arriba sumados a otros factores, se puede desencadenar la salida de los líquidos cloacales a través de las cámaras de inspección. En esa situación las aguas negras se estarían moviendo por presión. Si se produce que la presión del mar fuese mayor que la presión del agua que sale por los conductos pluviales y las válvulas a clapetas o válvulas de retención no funcionasen correctamente, el agua saldrá por los sumideros. Los conductos a cielo abierto muestran aguas quietas, fiel reflejo de la escasa o nula pendiente existente lo que provoca el lento escurrimiento existente en el área.

Desde esta óptica sería recomendable: anular los dos conductos de desagües pluviales que permiten la salida del agua de lluvia por la zona portuaria y conducir estas aguas por un nuevo conducto ubicado en calle Rubado hacia el canal Profertil, adecuando este canal al ingreso del mayor caudal. Por otra parte, sería favorable colocar equipos de bombeo de agua en la desembocadura de este canal en el estuario y en la actual desembocadura de los dos desagües pluviales existentes.

Es aconsejable cumplir con las tareas de mantenimiento de alcantarillas y sumideros limpiando los que se encuentran tapados de basura y restaurando los que se encuentran rotos. Sería conveniente colocar sumideros con depresión renovando los existentes que no tienen estas características.

9. ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN Y EL PELIGRO DE INUNDACIÓN

Desde la teoría social del riesgo, en este capítulo se analizará la dimensión de la exposición y la peligrosidad en el área de estudio.

9.1. Elementos importantes en el análisis

La Organización de Estados Americanos (1993) describe la importancia de contar con distintas fuentes y enumera mapas de referencia para la evaluación del riesgo: mapas catastrales con la definición de los distintos límites de la propiedad, considerados excelentes para el manejo de peligros debido a su precisión y detalle (Fig. 2.4), mapas de infraestructura que proporcionen datos esenciales respecto a la ubicación, tipo y configuración de la infraestructura básica afectada (Fig. 8.2, 8.4 y 8.5), mapas de emplazamiento de servicios que muestren la ubicación de las instalaciones destinadas a salud, educación y seguridad pública (Fig. 7.2). Información sobre mareas históricas (Capítulo 6). Mapas de instalaciones críticas donde se detallen las estructuras que si fueran dañadas pondrían en peligro la vida humana (ej: instalaciones químicas, plantas nucleares, presas, reservorios) (Fig. 7.2). Mapas de uso del suelo que detallen el uso de la tierra por el hombre (Fig. 7.1 y 7.2). Mapa de infraestructura costera que muestren las instalaciones portuarias. Esta cartografía se acompaña a continuación como figura 9.2. La figura 9.1 ubica el sector ampliado del puerto de la figura 9.2.

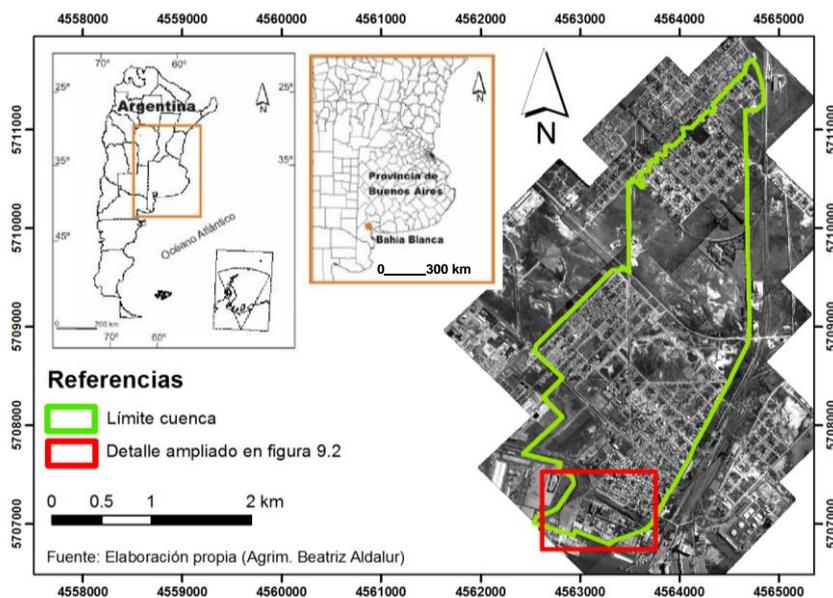
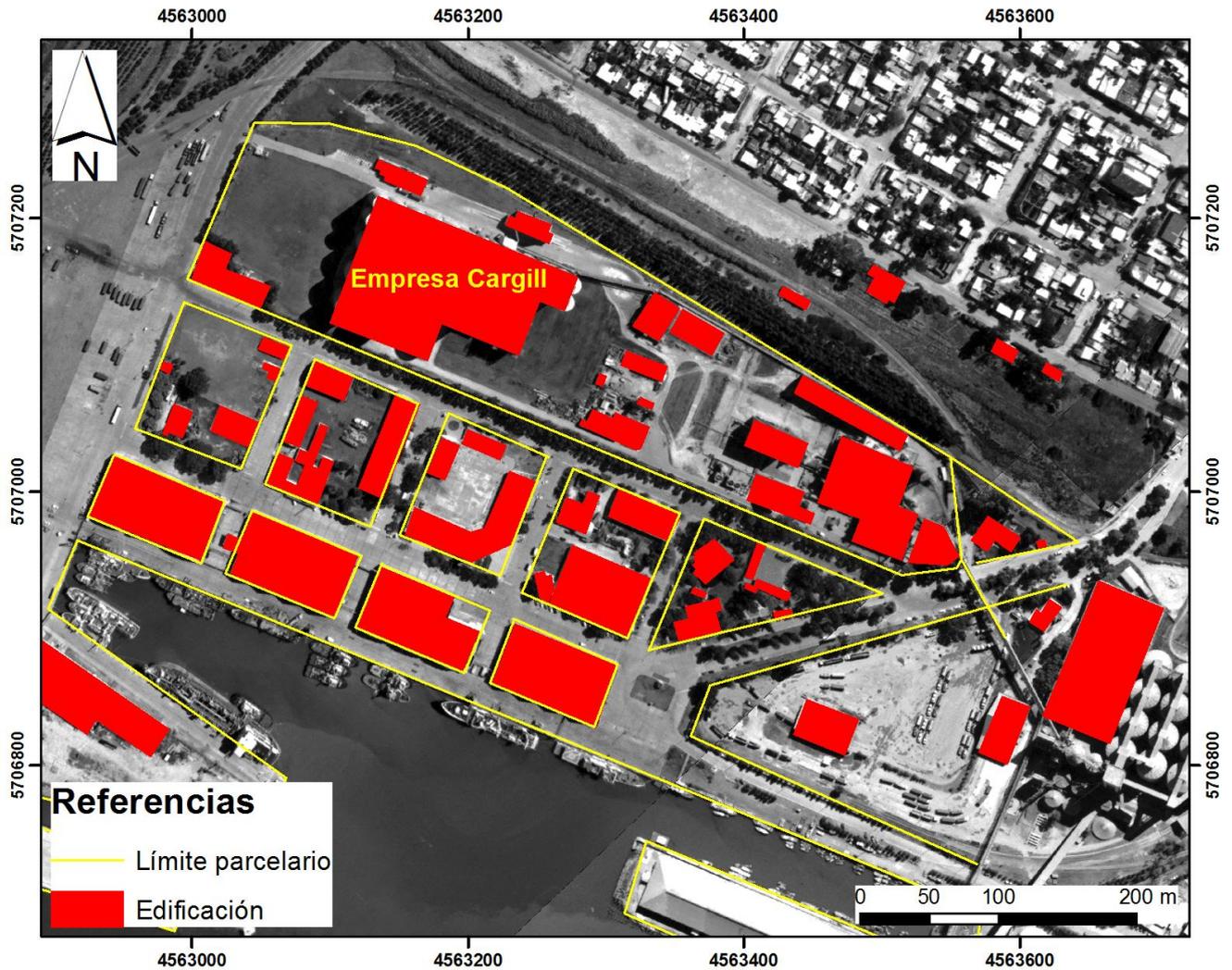


Figura 9.1. Detalle ubicación figura 9.2.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur)

Figura 9.2. Cartografía de la infraestructura en zona portuaria.

A lo recomendado por la Organización de Estados Americanos (1993) se le deben agregar los mapas de curvas de nivel del área de estudio (Fig. 3.8) y los mapas con ubicación de lugares afectados por eventos de inundación (Fig. 1.2).

9.2. Lugares de evacuación en Ingeniero White y entidades que colaboran en los momentos críticos

Para el análisis de la exposición es preciso contar con la ubicación de los lugares donde las personas afectadas por los sucesos de inundaciones y anegamientos son evacuadas en los momentos críticos, así como también conocer las organizaciones, entidades, instituciones y grupos que colaboran y ayudan durante estos sucesos.

A través de información obtenida de relatos de personas entrevistadas y del diario local, la zona de estudio cuenta con los siguientes establecimientos que en los recurrentes sucesos de inundaciones alojaron evacuados: el Hospital Menor de Ingeniero White, la Escuela de Educación Técnica N° 1 y el predio de dos manzanas de la agrupación scout "Don Ernesto Pilling".

Las instituciones y entidades que trabajaron brindando ayuda y solución a los diferentes problemas que se sucedieron a lo largo de los distintos eventos son numerosas. Entre ellas se encuentran los Bomberos Voluntarios de Ingeniero White y de General Daniel Cerri, Defensa Civil, personal de la Delegación Municipal de Ingeniero White, Policía de Ingeniero White, Servicio de Salvamento de la Armada y Servicio de Salvamento y Protección del Medio Ambiente, Prefectura Naval Argentina, agrupaciones de la Iglesia Católica, voluntarios de la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días. Algunos tienen sus sedes en la parte céntrica de la ciudad de Ingeniero White.

Es importante mencionar que Ingeniero White se encuentra incorporado desde el año 2001 a un programa diseñado por las Naciones Unidas para concientizar a la población y prepararla para las emergencias denominado Proceso Apell (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level). Los objetivos de este programa son: aumentar la toma de conciencia con respecto a los riesgos existentes dentro de una comunidad, elaborar planes integrados para responder a cualquier emergencia y dar pautas para la prevención de accidentes. La ciudad de Bahía Blanca, más precisamente la zona cercana al Polo Petroquímico como es Ingeniero White, se encuentra incorporada como ciudad piloto para la aplicación de este Proceso APELL (Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente, 2009).

El Proceso APELL se aplica al área circundante del Polo Petroquímico desde 1995. Intervienen en la tarea funcionarios de la Municipalidad de Bahía Blanca y de la provincia de Buenos Aires, gerentes de las empresas del Polo Petroquímico y representantes de entidades comunitarias. El objetivo general de este proceso es organizar a la población para que sepa actuar ante la eventualidad de algún accidente tecnológico de magnitud (<http://www.bahiablanca.gov.ar/apell/index.html>).

Para que este proceso brinde resultados es necesaria la participación activa y conjunta de la comunidad, de las autoridades gubernamentales locales y de la industria. Los tres puntos más importantes de peligrosidad considerados en el Proceso Apell para el área de estudio son: fuga tóxica, explosión e incendio. No se menciona en el mismo a los peligros

a que está expuesta el área por las inundaciones por Sudestadas y luvias intensas ya que no son considerados accidentes tecnológicos.

9.3. Análisis de la peligrosidad

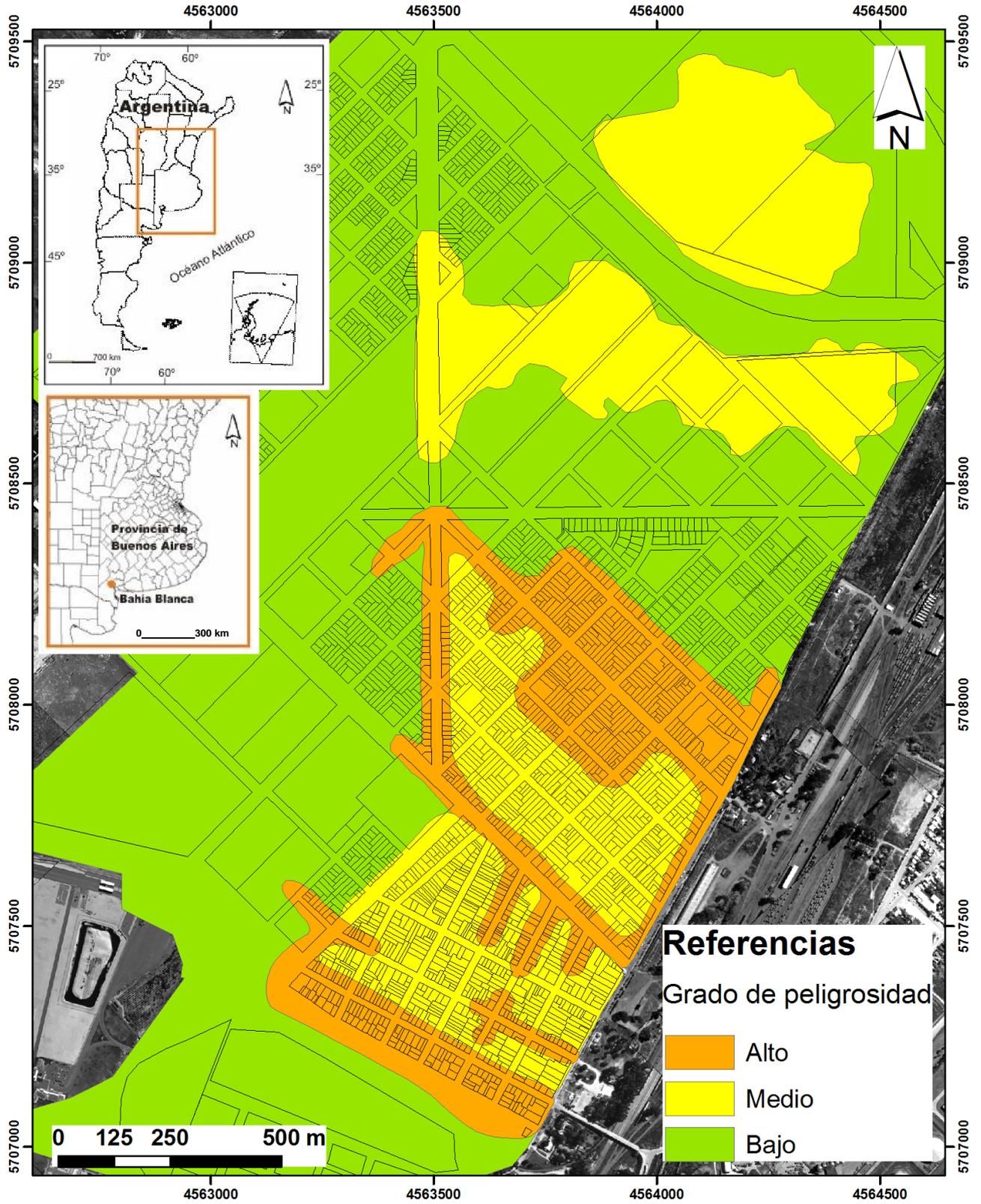
La peligrosidad y amenaza son considerados sinónimos por Natenzon *et al.* (2003). Según estos autores, la peligrosidad puede ser tomada de distintas maneras como lo es la peligrosidad percibida, basada en las representaciones sociales, es decir, según es identificada por la población o la peligrosidad científico – técnica elaborada sobre la base de lo que dicen los expertos en el marco de la ciencia normal. Esta última es la que se desarrollará en este capítulo.

En función de la cota de máxima altura de marea alcanzada en abril de 1978, se tuvo la altura máxima a la que se llegó en un evento de Sudestada. Esa altura fue de 6,28 m (Fig. 6.24). Para utilizar ese dato como ya explicó en el capítulo 2, se lo debió vincular al cero del IGM. Se utilizó para ello la tabla de la figura 2.2 y se obtuvo 3,85 m.

Del capítulo 6 surgieron los valores máximos de altura de marea que han provocado eventos de inundación cuando han sucedido episodios meteorológicos importantes. También surgieron las alturas de la marea que sin existir eventos de precipitaciones, provocaron hechos de anegamiento en el área de estudio.

Se delimitaron las áreas que se encuentran ubicadas a 2 m o menor (alto grado de peligrosidad) y que estén emplazadas en las cercanías de canales a cielo abierto y conductos pluviales. Esta información se cruzó con los lugares que en algún momento fueron afectados por un evento de inundación y con los lugares donde se encuentran ubicados los sumideros, ya que por allí emerge la marea.

Se elaboró así una cartografía de la peligrosidad clasificada en alta, media y baja (Fig. 9.3). Se eligió representar en esta cartografía solamente la zona que se encuentra ubicada en las categorías más altas de peligrosidad. El análisis del resultado obtenido se hará conjuntamente con el análisis de la figura 9.4.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur)

Figura 9.3. Cartografía representativa de los grados de peligrosidad.

9.4. Análisis de la exposición

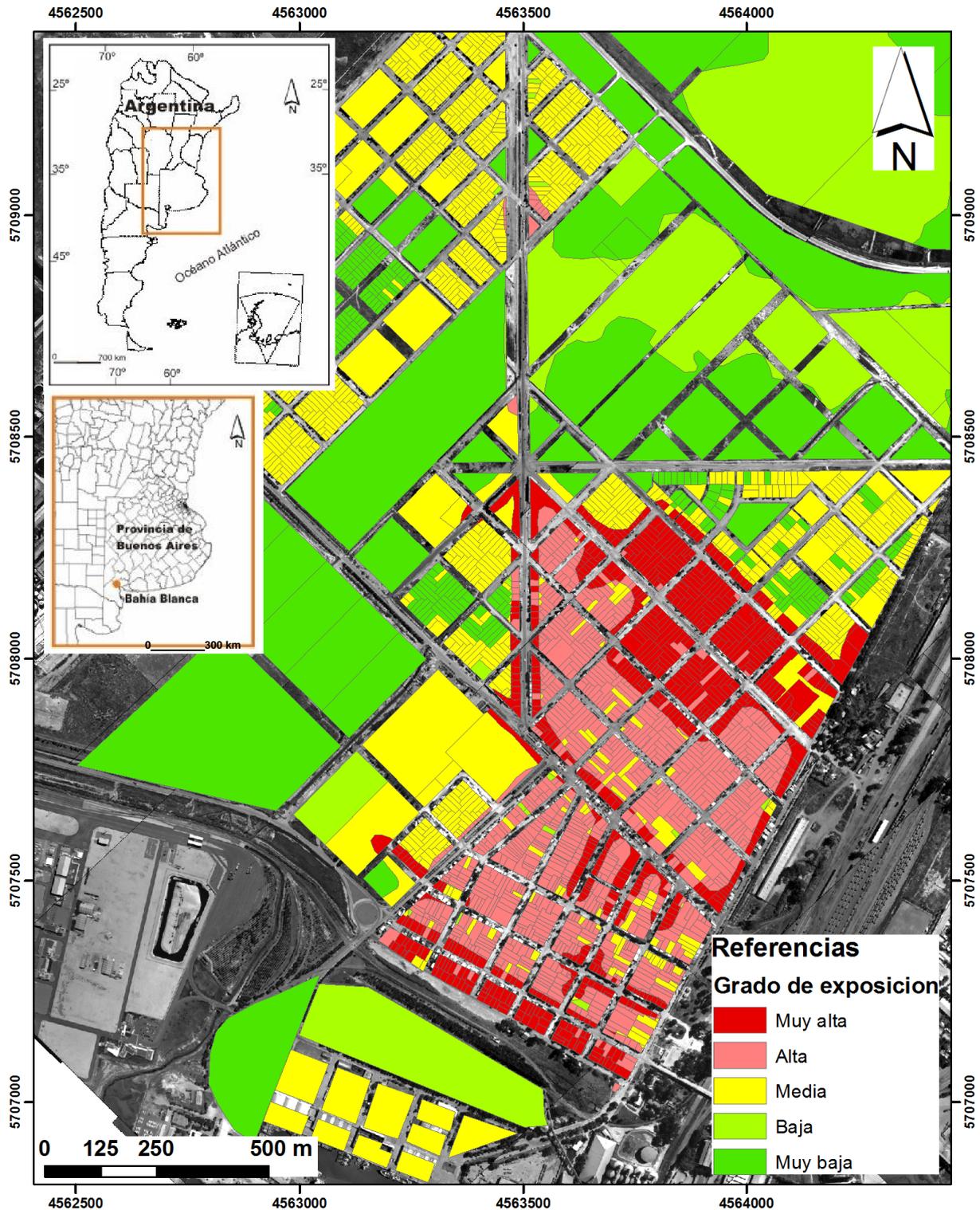
Para el análisis de la exposición se utilizaron las diferentes bases de datos incorporadas al SIG, detalladas en los capítulos anteriores y que responden a las recomendaciones elaboradas por la Organización de Estados Americanos (1993). El análisis de la exposición refiere a lo que podría ser materialmente afectado, "lo expuesto". En este punto el SIG se presentó como una herramienta imprescindible para la rápida elaboración de la cartografía. Mediante la superposición de capas, el manejo de las tablas de atributos y el modo consulta en lenguaje SQL (structured query language) se lograron delimitar las zonas más expuestas para luego confeccionar el mapa temático.

Para la obtención de la cartografía de los distintos grados de exposición se realizó una ponderación de los lugares expuestos. Esta jerarquización se efectuó teniendo en cuenta la existencia de lugares esenciales. La determinación de los elementos esenciales de un país, ciudad, pueblo o barrio es fundamental. Ellos son los elementos del lugar cuya pérdida sería perjudicial para el conjunto de la población, por lo que se los quiere preservar a toda costa. Un lugar es esencial porque su presencia es fundamental para la ciudad, localidad o barrio y su daño engendra consecuencias más graves para esa ciudad o barrio (D'Ercole y Metzger, 2002; Gil, 2009).

Los lugares esenciales en Ingeniero White fueron extraídos de la cartografía de uso del suelo (Fig. 7.2). Los emplazamientos educacionales, los destinados a salud y a religión y las viviendas familiares y multifamiliares fueron considerados esenciales. De la misma manera, los lugares destinados a asociaciones, entidades, gremios y clubes que en momentos de inundaciones colaboran y ayudan a la población. En materia de seguridad, se consideró lugar esencial el emplazamiento de bomberos y policía. Los clubes y el lugar destinado a la agrupación scout "Don Ernesto Pilling" son categorizados como un lugar esencial ya que allí trasladan a la población en momentos de inundación.

Aquellos usos del suelo que correspondían a un lugar esencial se los ponderó con índice alto. Se trabajó con tres índices que representaron los usos del suelo esenciales para la población: alto (3), medio (2) y bajo (1). Un lugar sin urbanización o baldío se categorizó con un bajo valor. Por otro lado se ponderó cada uso del suelo según el grado de peligrosidad. Esta ponderación resultó de la cartografía indicada en la figura 9.3. Se realizó una suma de ponderaciones que permitió categorizar al área de estudio en cinco grados de exposición: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

El resultado de aplicar la suma algebraica a cada parcela mediante el empleo del SIG se muestra en la figura 9.4. Se eligió representar en esta cartografía solamente la zona que se encuentra ubicada en las categorías más altas de exposición.



Fuente: Elaboración propia (Agrim. Beatriz Aldalur)

Figura 9.4. Cartografía representativa de los grados de exposición.

La tabla 9.1 muestra la suma algebraica resultante de categorizar los distintos lugares esenciales conjuntamente con la ponderación de los grados de peligrosidad. Esta información se encuentra incorporada al SIG en la tabla de atributos. Se trabajó a escala de parcela.

Peligro		Exposición		
		Lugares esenciales		
Ponderación		Baja	Media	Alta
Bajo	1	2	3	4
Medio	2	3	4	5
Alto	3	4	5	6

Tabla 9.1. Categorización de los distintos grados de exposición.

Para discriminar los distintos niveles de categorización se emplearon varios colores. Los colores aplicados son los detallados en la tabla 9.2.

2	Muy baja
3	Baja
4	Media
5	Alta
6	Muy alta

Tabla 9.2. Categorización de la exposición según los distintos colores.

La cartografía presentada en las figuras 9.3 y 9.4 muestran los distintos niveles de peligrosidad y exposición que tiene la ciudad de Ingeniero White. Las parcelas ubicadas sobre Av. San Martín, Av. Cabral y calles Rubado y Cárrega (Fig. 1.2) son las que se ubican en los mayores grados de exposición y peligrosidad. Todas ellas son de uso permanente. Sus frentes lindan con la trayectoria de los desagües pluviales y se encuentran emplazadas en las cotas más bajas del área de estudio.

El casco viejo de la ciudad se localiza casi su totalidad en grado alto y muy alto de exposición y alto grado de peligrosidad. La zona portuaria, donde se ubica la infraestructura de la figura 9.2, tiene parte de sus amanzanamientos en área de exposición media mientras que la localización de la empresa Cargill se encuentra en baja exposición al igual que la playa de estacionamiento del puerto. Esto se explica ya que el área portuaria fue construida a mayor altura sobre el nivel del mar.

El barrio 26 de Setiembre (Fig. 7.11) contiene varias manzanas que se encuentran ubicadas en zonas de exposición media al igual que la zona suburbana de Ingeniero White. Las áreas de baja exposición que las rodean configuran parcelas sin urbanización o baldías.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta tesis se generó la información de base para ser utilizada en un programa propio de la ingeniería. Las fotografías aéreas en escala 1:5.000, el empleo de los equipos GPS geodésicos de doble frecuencia y la aplicación de un SIG fueron la base para trabajar a escala de detalle. El posterior análisis geográfico muestra un ejemplo multidisciplinario de trabajo.

La transformación del relieve estudiada a lo largo de dos fechas distintas, alejadas entre sí en el tiempo, permitió analizar el cambio obrado en el área de estudio, mediante la comparación de la topografía actual con la topografía existente cuando la zona poseía escasa urbanización. El emplazamiento de industrias, viviendas y servicios portuarios y la construcción de caminos, carreteras y vías ferroviarias determinaron el crecimiento de la zona a lo largo de estos cuarenta años. La urbanización condicionó el camino del agua desde las partes altas hacia las bajas y originó la formación y movimiento de sedimentos, provocando la agradación del área. Se incrementaron depresiones en áreas expuestas y nuevos canales surgieron en esta geografía urbana. Los sedimentos transportados se fueron acumulando aguas abajo.

El muelle del puerto de Ingeniero White quedó emplazado en una cota sobre el nivel del mar superior respecto del casco principal de la ciudad. Las pendientes calculadas se encuentran por debajo del 1 %. El área de estudio configura así una topografía casi llana, con marcadas dificultades para evacuar la salida del agua hacia el estuario.

El análisis morfométrico de las tres cuencas de la zona de estudio confirma que se trata de áreas de escasa pendiente, proclives a presentar eventos de inundación, con mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. La cuenca que ocupa toda la parte del casco de la ciudad de Ingeniero White es la que presenta mayor velocidad en las avenidas de la escorrentía. Las otras dos cuencas presentan mayor retardo en las avenidas de la escorrentía. El mayor caudal de toda el área de estudio sale al estuario por el canal Profertil que corresponde a la cuenca III y que posee el mayor orden y la mayor superficie. Las otras dos cuencas de menor superficie están sujetas a crecientes instantáneas y de respuesta inmediata.

El análisis de las variaciones climáticas en la ciudad de Bahía Blanca e Ingeniero White estudiado desde 1971 hasta 2005 explicó algunas de las situaciones que provocaron inundaciones en Ingeniero White. La Sudestada es el estado del tiempo que más perjuicios

ha provocado en el área de estudio. Los fuertes vientos del Sur o Sureste incrementan la altura de marea. Este hecho sumado a las intensas lluvias contribuyen al avance del agua de mar sobre el continente obstruyendo la salida del agua de lluvia a través de los conductos pluviales. Los temporales y tormentas con precipitaciones intensas y fuertes vientos pueden actuar sobre los desagües pluviales no dando tiempo al escurrimiento. Si la precipitación es intensa, el evento puede alcanzar características de inundación. Estos eventos meteorológicos son perjudiciales para el área desde el punto de vista de la intensidad de los vientos que generan y las lluvias que provocan.

El comportamiento de las mareas en el estuario, estudiado por su importancia en la interacción con una zona urbanizada, permitió elaborar algunas conclusiones. Cuando se conjugan los vientos con valores de 35 a 40 km/h o superiores provenientes del Sur o Sureste en momentos en que se produce la pleamar y ésta registra valores superiores a 5,30 m existe probabilidad de que se produzcan eventos de inundación. Precipitaciones superiores a los 100 mm/h conjuntamente con alturas de marea mayores a los valores medios máximos pueden provocar eventos de inundación. Cuando no han sucedido precipitaciones y han existido eventos de Sudestada con ráfagas de viento del cuadrante Sur o Sureste superiores a 50 km/h, la altura de marea ha provocado estos eventos con 5,30 m y superiores.

El análisis del uso del suelo y del crecimiento de la trama urbana en el área de estudio demostró que no existen nuevos emprendimientos edilicios y el crecimiento en la urbanización es escaso. No existe presión por ocupar los espacios vacantes. El área de estudio incrementará el riesgo de inundarse en la medida en que en el futuro, nuevas tierras se vayan incorporando al uso residencial, comercial o industrial. El futuro crecimiento de las áreas vecinas impondrá nuevos cambios en las redes de drenaje estudiadas.

La urbanización futura debe guiarse por un proyecto general que diagrame la salida de los desagües pluviales de toda el área y de áreas linderas. La urbanización de parcelas baldías existentes en la zona de estudio y de parcelas ubicadas al noroeste de la cuenca incrementará el flujo de las aguas de lluvias aumentando la posibilidad de inundaciones en la zona de estudio.

Es muy importante analizar las bases para las nuevas construcciones e industrias que se asentarán en el sector de estudio y en sectores aledaños a la cuenca, según lo permitido por el código de zonificación. Hay áreas de parcelas que no se encuentran urbanizadas y cuando lo sean, se las someterá a relleno, esto redundará en mayor caudal para la cuenca.

Factores geomorfológicos, climáticos y antropogénicos concurren en forma conjunta en los eventos de inundación del área. La escasa pendiente, las Sudestadas sumadas a fuertes lluvias y el crecimiento urbano son las causas que generan probabilidad de ocurrencia de estos eventos.

A partir del estudio de la red de drenajes urbana se desprende que se han realizado muchas obras en el área con el fin de solucionar problemas de inundación. Los desagües pluviales existentes en la actualidad son, en su mayoría, los diagramados para los comienzos de la urbanización en Ingeniero White. Muchos de ellos se encuentran obsoletos y son renovados para solucionar problemas puntuales. El crecimiento urbano ha superado la inversión en desagües pluviales.

Los canales a cielo abierto realizados para terminar con el problema son numerosos y pueden ser observados en la cartografía de esta tesis. Ellos interrumpen la trayectoria de las vías de circulación y fueron diagramados en su totalidad para ubicarse dentro del área destinada a calles. Muchas manzanas quedan así separadas de su lindera por un canal y toda el área de estudio queda dividida así en varios sectores. Los frentes de algunos parcelamientos lindan a canales a cielo abierto. Los datos de esta tesis permitirán diagramar los conductos pluviales que reemplazarán a futuro a estos canales a cielo abierto.

Las parcelas situadas frente a la trayectoria de los desagües pluviales son las que se ubican en los mayores grados de exposición y peligro. Todas ellas son de uso permanente y se encuentran emplazadas en las cotas más bajas del área de estudio. El casco viejo de la ciudad se localiza casi su totalidad en grado alto y muy alto de exposición y alto grado de peligrosidad, exceptuando algunas parcelas que se ubican en baja exposición. La zona portuaria tiene parte de sus amezanamientos en área de exposición media mientras que la localización de la empresa Cargill se encuentra en baja exposición al igual que la playa de estacionamiento del puerto. Esto se explica ya que el área portuaria fue construida a mayor altura sobre el nivel del mar.

La información suministrada en esta tesis puede ser base para futuros estudios y proyectos hidráulicos por parte de entes municipales y provinciales. Los datos de caudales son la información primaria utilizada para diagramar futuros conductos pluviales, sumideros o alcantarillas.

Las estrategias de manejo tendientes a establecer una solución integral a los problemas de la cuenca son:

El agua de mar puede superar las compuertas de contención de los dos conductos pluviales y salir a la zona urbana de Ingeniero White por los sumideros, por lo que se aconseja eliminar las dos salidas al mar de los conductos pluviales existentes en el área portuaria y construir un conducto por calle Rubado que lleve toda el agua hacia el canal Profertil. Se debe adecuar este canal al ingreso de mayor caudal y colocar una estación de bombeo en la desembocadura de este conducto proyectado y en las dos salidas al mar que se sugiere clausurar. Para ello se debe diagramar un terraplén hasta una altura que frene las máximas alturas de marea, para que éstas no lo sobrepasen y toda el agua de las posibles precipitaciones y mareas sea bombeada al mar en momentos picos. Se debe emplazar la bomba en este lugar estratégico para que comience a funcionar ni bien el agua llega a un nivel crítico.

Se recomienda mantener los desagües pluviales (canales a cielo abierto, alcantarillas y sumideros) limpios de basura y sedimentos y restaurar los sumideros que se encuentran rotos. Es conveniente colocar sumideros con depresión renovando los existentes que no tienen estas características.

Dar un tratamiento distinto a las aguas de lluvia, almacenándolas en piletones en momentos picos de eventos de inundación permitiría dar una solución sustentable. De esta manera el agua sería un recurso y no un problema. Si bien es importante reconocer que no se deben realizar obras que no se puedan conservar o mantener, la reutilización del agua para fines que no demanden agua potable (riego, lavado de autos y veredas, extinción de incendios, etc) es otra posible solución. La localización de la misma debe hacerse en un lugar cercano al estuario en tierras de dominio fiscal o con posibilidad de uso a través de la expropiación.

Referencias bibliográficas

A

- Aldalur, B.; Fernández, S. y Campo de Ferreras, A., 2005. Estudio de la Hidrología Urbana de Ing. White, Argentina. XXVI Congreso Nacional y XI Internacional de Geografía. Santiago de Chile, Chile. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, pp. 11- 18.
- Aldalur, B.; Fernández, S. y Campo de Ferreras, A., 2006. Hidrología urbana de Ingeniero White: su estudio a través de sensores remotos. XXIII Reunión Científica de la Asociación de Geofísicos y Geodestas. Bahía Blanca, Argentina, pp. 16 de los Resúmenes.
- Aldalur, B.; Fernández, S.; Di Croche, N. y Campo, A., 2007. Tratamiento de las alturas en un SIG - Zona de Ingeniero White. IV Seminario Internacional de Ordenamiento Territorial - Instituto de Cartografía, Investigación y Formación para el Ordenamiento Territorial (CIFOT). Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Publicación digital, (CD ROM) 6 pp.
- Aldalur, B.; Fernández, S.; Di Croche, N. y Campo, A., 2009. Sistema de Información Geográfica aplicado a la hidrología urbana en Ingeniero White. Revista Agrimensura Hoy. Consejo Nacional de Escuelas de Agrimensura CONEA. Argentina. Volumen 1 N° 2., pp. 41-48.
- American Society of Civil Engineers, 1985. Design And Construction of Urban Stormwater Management Systems: Asce Manuals And Reports on Engineering Practice N° 77. Asce Manual and Reports on Engineering Practice. American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation. New York, NY.
- Andrade, M., 2005. Inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Factores naturales y antrópicos desde una teoría social del riesgo. La cuenca Parano-Platense. Período 1980-2000. Simposio Problemáticas Ambientales. Séptimo Encuentro Internacional Humboldt. Villa de Merlo. San Luis. Argentina, 8 pp.
- Andrade, M., 2007. Aplicación de sistemas de información geográfica y teledetección en la identificación de variables ambientales. XI CONFIBSIG (Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica). Póster. Argentina. Buenos Aires. [www.geogra.uah.es/inicio/web_11_confibsig/PONENCIAS/2-018-Andrade.pdf].
- Angeles, G., 2001. Estudio integrado del estuario de Bahía Blanca. Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur, 166 pp.
- Aparicio Mijares, F., 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. México, DF. Limusa, 303 pp.
- Arbuet, M. y Pusineri, G., 2008. Utilización de técnicas SIG para la modelación hidrológica. Experiencias en la generación del modelo digital de elevación y delimitación de cuencas. IV Congreso de la Ciencia Cartográfica XI Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires. Publicación digital, (CD ROM) 14 pp.
- Atlas Total de la República Argentina, 1981. Centro Editor de América Latina. Fac. 13.

Atlas Total de la República Argentina, 1984. Centro Editor de América Latina. Fac.7 y 73.

B

- Barros, V.; Menéndez, A.; Natenzon, C.; Kokot, R.; Codignotto, J.; Re, M.; Bronstein, P.; Camilloni, I.; Ludueña, S.; González, S. y Ríos, D., 2006. Vulnerability to floods in the metropolitan region of Buenos Aires under future climate change. AIACC Working paper N° 26, 35 pp. Publicación electrónica en: www.aiaccproject.org.
- Beck, U., 1986. La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad. Editorial Paidós, Barcelona, España, 304 pp
- Benedetti, G., 1997. Las Contribuciones Geográficas de Alcides D'Orbigny al conocimiento de la flora y fauna del área de Bahía Blanca. 49 Congreso Internacional del Americanistas (ICA). Quito, Ecuador. [www.antropologia.com.ar/congresos/contenido/49CAI/Benedetti.htm].
- Benítez, A., 1972. Captación de aguas subterráneas. 2º Edición. Editorial Dossat, S.A. Madrid, 619 pp.
- Bianucci, P., 2002. Criterios de Selección de cuencas urbanas para el estudio de la calidad de los efluentes pluviales. [www1.unne.edu.ar/cyt/2002/07-Tecnologicas/T-015.pdf].
- Bosque Sendra, J., 1992. Sistemas de información geográfica. Editorial Rialp, España, Madrid, 450 pp.
- Bróndolo, M.; Campos, M.; Zinger, S.; Del Pozo, O. y Lorda, M., 1994. Geografía de Bahía Blanca. Bahía Blanca, Ediciones Encestando SRL, 197 pp.
- Bruniard, E., 1982. La diagonal árida argentina. Un límite climático real. Revista Geográfica N° 95. México. Instituto Panamericano de Geografía e Historia: pp. 5 - 19.
- Bruniard, E., 1992. Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial. Buenos Aires. Editorial CEYNE, 125 pp.
- Brunini, C.; Moirano, J. y Mackern, M., 2000. Comparación entre los marcos de referencia Posgar'94 y Posgar'98. Publicado en Actas de la 20a Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Mendoza, Argentina, pp. 241-246.
- Brunini, C; Moirano, J.; Drewes, H. y Kaniuth, K., 2002. Improvements in the ellipsoidal heights of the Argentine reference frame. Vertical Reference Systems. International Association of Geodesy Symposium, Vol. 124. H. Drewes, A. Dodson, L. Souto Fortes, L. Sánchez and P. Sandoval. (eds) Springer, pp. 16-19.
- Burrough, P. y McDonnell, R., 1998. Principles of Geographical Information System. Oxford University. Gran Bretaña, 333 pp.
- Buzai, G., 2008. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cartografía temática. Lugar Editorial, Buenos Aires, Argentina, 131 pp.
- Buzai, G. y Baxendale, C., 2006. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. 1º edición, Lugar Editorial, Buenos Aires, Argentina, 397 pp.

C

- Caló, J; Fernández, E.; Marcos, A.; Aldacour, H., 1997. Los sedimentos recientes y su relación con la geología ambiental urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología. Sociedad Venezolana de Geología. Tomo I, pp. 137-143.
- Caló, J; Fernández, E.; Marcos, A. y Aldacour, H., 1999. Construcción de mapas geológico-ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un sistema de información geográfica. Revista de Geología aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Nº 13, pp. 1-10.
- Campo de Ferreras, A., 1999. Hidrografía del río Quequén Grande. Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur, 141 pp.
- Campo de Ferreras, A.; Capelli de Steffens, A. y Diez, P., 2004a. El clima del suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina, 105 pp.
- Campo de Ferreras, A.; Hernández Moresino, S., Huamantínco Cisneros, M. y Zapperi, P., 2004b. Ocurrencia de Sudestadas en el Suroeste bonaerense. Contribuciones Científicas, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 65 Semana de Geografía. Santa Fe, pp. 45–50.
- Campo, A.; Ramos, B. y Zapperi, P., 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina. XII Encuentro de Geógrafos de América Latina. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 12 pp. [Actas electrónicas: http://egal2009.easyplanners.info/area07/7085_Campo_Alicia_M_.pdf].
- Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A., 1994. La transición climática en el sudoeste bonaerense. En: SIGEO, Bahía Blanca; Sección de Investigación del Departamento, U.N.S de Geografía Nº 5, 75 pp.
- Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A., 1997. Caracterización climática del área de Bahía Blanca. Incorporado al Informe sobre áreas posibles para la localización de la Zona Franca Bahía Blanca – Coronel Rosales. Bahía Blanca. Argentina, 6 pp.
- Capitanelli, R., 1998. Geografía física y medio ambiente: revalorización y enseñanza. Métodos y técnicas de trabajo. Mendoza. Editorial Ecogeo, 153 pp.
- Cardona, D., 2003. La noción de riesgo desde la perspectiva de los desastres. Marco conceptual para su gestión integral. Programa de información e indicadores de gestión de riesgos. Banco Interamericano de Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales – IDEAS. Manizales, Colombia., 69 pp.
- Castillo Sánchez, V., 1989. Estabilización de cauces torrenciales. Determinación de caudales máximos en pequeñas cuencas. Curso de Formación continua. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid, 40 pp. En: Senciales González, J., 1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. Universidad de Málaga, 337 pp.
- Catalá Moreno, F., 1992. Cálculo de caudales en las redes de saneamiento. Colección Seignor Nº 5. Segunda edición. España. Editorial Paraninfo, 198 pp.
- Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua, 2006. [<http://www.elsantafesino.com/politica/2006/07/03/4737>].

- Chow, V., 1998. Hidráulica de canales abiertos. Santa Fe de Bogotá. Colombia. Editorial McGraw-Hill, 667 pp.
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L., 1999. Hidrología aplicada. Santa Fe de Bogotá. Colombia. Editorial McGraw-Hill, 584 pp.
- Chuvieco, E., Bosque, J.; Pons, J.; Conesa, C.; Santos, J.; Gutiérrez Puebla, J.; Salado, M.; Martín, M.; de la Riva, J.; Ojeda, J. y Prados, M., 2005. ¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía?. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, AGE, N° 40, España, pp. 35-55.
- Celemín, A., 1984. Meteorología Práctica. Edición de Autor. Mar del Plata, Argentina, 311 pp.
- Costa, J., 1987. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. Journal of hydrology. Volume 93. Issues 3-4, 313 – 338 pp.
- Cuadrado, D.; Ginsberg, S. y Gómez, E., 2005. Campo de dunas en el estuario de Bahía Blanca. Argentina. XXV Congreso de Ciencias del Mar. XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Viña del Mar. Chile, 4 pp.

D

- D'Ercole, R y Metzger, P., 2002. Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito. Colección Quito Metropolitano N° 22, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito e Institut de Recherche pour le Développement (MDMQ-IRD), Quito, Ecuador, 206 pp.
- De Lucía, C., 2007. Bomberos Voluntarios de Ingeniero White, Libro del Centenario 1907-2007. Edición de la Asociación Voluntaria de Bomberos de Ingeniero White. Capítulo: Ingeniero White a comienzos del siglo XX. [http://www.terapiatanguera.com.ar/Notas%20y%20articulos/libro_bomberos_parte1.htm#white].
- Del Cogliano, D.; Napal, E.; Di Croche, N.; Aldalur, B., Napal, N.; De Aduris, A. y Martinez, M., 1998. Control de cartas topográficas con GPS. ISPRS - International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Bahía Blanca, Volumen XXXII, Tomo 6W4, pp. 142-147.
- Del Cogliano, D. y Perdomo, R., 2001. Apuntes del curso de actualización Geodesia y GPS. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, 64 pp.
- Departamento de Desarrollo Sostenible, 2009. Estimaciones a partir de modelos. Depósito de documentos de la FAO, 19 pp. [<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s09.htm>].
- Di Croche, N.; Napal, E.; Aldalur, B.; Napal, P. y Pintos, I., 1999a. Nivelando con GPS. Experiencia en Bahía Blanca. XX Congreso Nacional y V Internacional de Geografía. Universidad del Bio-Bio. Chillan, Chile. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, pp. 484-487.
- Di Croche, N.; Napal, E.; Aldalur, B.; Napal, P.; Pintos, I.; Stolze, M.; Martinez, M. A.; Perdomo, R. y Del Cogliano, D., 1999b. Interacción SIT - GPS. Ampliación de la base geométrica de un SIT por medio de GPS. XX Congreso Nacional y V Internacional de Geografía. Universidad del Bio-Bio, Chillan, Chile. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, pp. 488-492.

Di Croche, N.; Aldalur, B.; Napal, E. y Napal, P. Alumnos: Cuervo, V.; Bel, C.; Laffitte, E.; Mansilla, L. y Abad, G., 2000. Estudio tendiente a la puesta en funcionamiento de una estación permanente en la ciudad de Bahía Blanca. XXI Congreso Nacional y VI Internacional de Geografía. Temuco, Chile, pp. 115 de los Resúmenes.

Di Nardo, L., 2005. Geomorfología de la localidad de Ingeniero White. Magíster y Geólogo: comunicación personal.

Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas - MOSP, 1995. Normas para la presentación de proyectos de desagüe aprobadas por disposición N° 1170. Provincia de Buenos Aires. 11 pp.

Doria, O., 2009. El presidente Alfonsín y Bahía Blanca. En: La Nueva Provincia, 18 de abril de 2009.

Drogue, G.; Pfister, L.; Leviandier, T.; Humbert, J.; Hoffmann, L.; El Idrissi A. and Iffly J., 2002. Using 3D dynamic cartography and hydrological modelling for linear streamflow mapping. *Computer and Geosciences*. Volume 28. Issue 8, pp. 981-994.

E

Ehrensperger, A., Wymann von Dach, S y Kakridi Enz, F., 2007. Tecnologías de Información Geográfica para el manejo de los recursos naturales. Focus N° 3. Suiza, Schlaefli & Maurer AG. [http://www.inforesources.ch/pdf/focus07_3_s.pdf].

Elgy, J., 2001. Airborne remote sensing for urban drainage. Alastair Buchanan Building, Aston University, UK. *Urban Water* 3, pp. 287-297.

F

Fernández Caso, M.; Bertoncello, R.; Blanco, J.; Ciccolela, P. y Natenzon, C., 2007. Geografías y territorios en transformación. Nuevos temas para pensar la enseñanza. Coeditores: INDE - NovEduc. Buenos Aires, Argentina, 112 pp.

Ferrando Acuña, F., 2006, Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista de Urbanismo*, N°15, Santiago de Chile, publicación electrónica editada por el Departamento de Urbanismo, F.A.U. de la Universidad de Chile. [http://revistaurbanismo.uchile.cl/CDA/urb_completa/0,1313,ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D19141,00.html].

Ferrario de Urriza, S., 2000. El ABC del GPS. Edición del Consejo Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires, 172 pp.

Fidalgo, F. 1983. Geología y geomorfología del área de White-Cerri y alrededores de Bahía Blanca. Comisión estudios del suelo White-Cerri. Decreto 1159/82. Univ. Nacional de La Plata- MOSP Provincia de Buenos Aires.

Foote, K. y Lynch, M., 1995. Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions. The Geographer's Craft Project. Department of Geography, University of Texas. Austin Estados Unidos. [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/intro/intro_f.html].

Fuschini Mejía, M., 1994. El agua en las llanuras. Montevideo: UNESCO-ORCYT, 58 pp.

G

- Gabazza, S. y Ruberto, A., R., 2007. Metodología para el trazado de cuencas urbanas de llanura. Estudio de caso: Cuenca de la avenida Urquiza, Resistencia, Chaco, 4 pp.
- Gentile, E. y González S., 2001. Social vulnerability to floods in Buenos Aires City (Argentina). The cases of La Boca neighborhood and the basin of Maldonado stream. Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community. Brasil, Rio de Janeiro, 20 pp. [<http://sedac.ciesin.org/openmeeting/schedule.html>]
- Gentili, J. y Gil, V., 2009. Aplicación de Tecnologías de Información Geográficas (TIG) al análisis hidrogeomorfológico. Caso de estudio: cuencas hidrográficas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina. 12º Encuentro de geógrafos de América Latina "Caminando en una América Latina en transformación". Montevideo, Uruguay, 9 pp.
- Giagante, D.; Aliotta, S. y Ginsberg, S., 2008. Análisis sismoestratigráfico de paleocanales en el subsuelo marino del estuario de Bahía Blanca. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol.63 Nº1. Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Argent., ene./mar, Vol.63, Nº.1, pp. 65-75.
- Gil, V., 2009. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al análisis de crecidas. Tesis Doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur. Argentina, Bahía Blanca, 262 pp.
- Gil, V.; Zapperi, P.; Campo, A.; Luorno, M. y Ramborger, M., 2008. Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense. VII Jornadas de Geografía Física. Universidad Católica de Santiago del Estero. San Salvador de Jujuy, pp. 149-158.
- Gnabanhith, S., 1997. Thesis No. SR-97-7. Application of Remote Sensing and GIS for Urban Drainage System Management: a case study of Vientiane Municipality.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2010. [http://www.cedem.gov.ar/areas/espacio_publico/mantenimiento_urbano/plan_hidraulico/obras_renegociadas.php?menu_id=20518].
- Gómez, E. y Borel, C., 2006. Palinología del Holoceno del Canal del Medio, estuario de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Ameghiniana, V.43, Nº 2.
- Gómez, E. y Perillo, G. M., 1995. Sediment outcrops underneath shoreface-connected sand ridges, outer Bahía Blanca estuary, Argentina. Quaternary of South America and Antarctica Peninsula 9: pp. 27-42.
- González, S., Barrenechea, J., Gentile, E y Natenzon, C., 1998. Riesgos en Buenos Aires. Caracterización preliminar .PIRNA-Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente, Instituto de Geografía, FFyL., UBA. En: Seminario de Investigación Urbana El Nuevo Milenio y lo Urbano. Instituto de Investigaciones Gino Germani, Instituto de Geografía y CEUR-CEA de la UBA; Instituto del Conurbano, UNGral. Sarmiento, y Universidad de Quilmes. Buenos Aires, 52 pp.
- Gray de Cerdán, N., 1987. Territorio y urbanismo. Bases de Geografía Prospectiva. Argentina, Mendoza, 176 pp.

Greco, G., 2005. La Ciudad de Buenos Aires, la ocupación del espacio y una de sus problemáticas ambientales: las inundaciones. Simposio Problemáticas Ambientales. Séptimo Encuentro Internacional Humboldt. Villa de Merlo. San Luis. Argentina.

H

Hayes, M., 1975. Morphology of sand accumulation in estuaries: An introduction to the symposium. En: Piccolo, M y Perillo G. 1997. Geomorfología e hidrografía de los estuarios. En: Boschi E. El mar argentino y sus recursos pesqueros. Mar del Plata, Argentina. Cap 1: pp. 133-161.

<http://www.bahiablanca.gov.ar/apell/index.html>

<http://www.cibernautica.com.ar/mareas/interpre.htm>

<http://www.epbb.uns.edu.ar/>

<http://www.google-earth.es>

<http://www.ingenierowhite.com>

<http://www.soydewhite.com.ar/historia.htm>

Holanda Blas, M. y Bermejo Ortega, J., 1998. GPS & GLONASS Descripción y aplicaciones. Madrid, 69 pp. En: www.danotario.com/manuales/gpsglonass.pdf

Horton, R., 1945. Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America. N° 56, pp. 275-370.

Huerta, E.; Mangiaterra, A. y Noguera, G., 2005. GPS, posicionamiento satelital. Editorial Universidad Nacional de Rosario, pp. 148.

I

IGM, 1976. Lectura de cartografía. Argentina, 134 pp.

INTA; Aeroterra S.A. y Fundación ArgenINTA., 1995. Atlas de suelos de la República Argentina. Publicación digital. (CD ROM).

Irurzun, A. y Zirulnikoff, N., 2004a. Gestión del riesgo hidrometeorológico en área urbana. XXIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Buenos Aires. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas e Instituto Geográfico Militar. Publicación digital (CD ROM), 6 pp.

Irurzun, A y Zirulnikoff, N., 2004b. Aplicación de tecnología satelital y SIG al análisis de riesgos naturales de la ciudad de Buenos Aires. XI Simposio SELPER. Santiago, Chile, 9 pp.

J

Jardí, M., 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía. Vol. XIX. Barcelona, pp 41-68.

Joo-Hyung, R., Joong-Sun, W. y Kyung, D., 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat. A case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of environment*. Volume 83. Issue 3, pp. 442-456

L

La Nueva Provincia, 1934. White bajo agua, 6 de febrero.

La Nueva Provincia, 1976. Una violenta sudestada azotó Ingeniero White, 20 de abril.

La Nueva Provincia, 1976. Vientos de hasta 125km horarios, 21 de abril.

La Nueva Provincia, 1977. Creo inquietud la Sudestada en White, 16 de mayo.

La Nueva Provincia, 1977. Creciente en White: Se normalizó ayer la situación, 17 de mayo.

La Nueva Provincia, 1980. La lluvia rompió ayer un largo período de semisequía, 5 de marzo.

La Nueva Provincia, 1980. Ciudad vulnerable, 6 de marzo.

La Nueva Provincia, 1990. Un gran temporal produjo trastornos en la ciudad, 26 de noviembre.

La Nueva Provincia, 1991. Evacuados y casas inundadas a causa de la lluvia, 6 de setiembre.

La Nueva Provincia, 1992. La ciudad pasada por agua. Penando bajo una intensa lluvia, 18 de junio.

La Nueva Provincia, 1992. Los desagües funcionaron muy bien, sostuvo Linares, 19 de junio.

La Nueva Provincia, 1992. Serios trastornos causó la lluvia ayer, 18 de setiembre.

La Nueva Provincia, 1994. La lluvia no tuvo reparos, 15 de noviembre.

La Nueva Provincia, 1996. Las aguas citaron Ingeniero White. La última gran sudestada, 21 de julio.

La Nueva Provincia, 1997. Otra vez sudestada, 4 de abril.

La Nueva Provincia, 1997. Una ciudad pasada por agua, 15 de junio.

La Nueva Provincia, 1997. Del paraguas a los lentes oscuros, 14 de julio.

La Nueva Provincia, 1999. En White, como siempre, 21 de marzo.

La Nueva Provincia, 2001. La situación en Ingeniero White, 19 de abril.

La Nueva Provincia, 2001. Lento desagote del agua en Ingeniero White. Hubo 3600 afectados por el temporal, 20 de abril.

La Nueva Provincia, 2001. Mejora la situación, tras las lluvias, 21 de abril.

-
- La Nueva Provincia, 2001. Los últimos evacuados retornan a sus casas. Ayuda a través de un proyecto de ley, 22 de abril.
- La Nueva Provincia, 2001. Corre agua por el bulevar whitense, 27 de mayo.
- La Nueva Provincia, 2002. A raíz del temporal hay casi 300 personas evacuadas. Recorrida por las delegaciones, 29 de agosto.
- La Nueva Provincia, 2002. Inundaciones: Ingeniero White es, todavía, el talón de Aquiles, 1 de setiembre.
- La Nueva Provincia, 2002. Problemas en White, 14 de octubre.
- La Nueva Provincia, 2002. En Ingeniero White, 15 de octubre.
- La Nueva Provincia, 2002. Innumerables trastornos y daños causó el temporal en la region, 11 de noviembre.
- La Nueva Provincia, 2006. Ingeniero White sigue vulnerable a grandes lluvias, 15 de enero.
- La Nueva Provincia, 2006. La lluvia solo afectó a los sectores más vulnerables, 24 de febrero.
- La Nueva Provincia, 2006. El día que no sirvieron los paraguas económicos, 29 de julio.
- La Nueva Provincia, 2007. Anegamiento en algunas arterias de Ingeniero White, 14 de enero.
- La Nueva Provincia, 2008. Convenio entre el CGPBB y la comuna. Mejorarán el canal de desagüe pluvial de Ingeniero White, 15 de julio.
- La Nueva Provincia, 2009. Una marea inundó sectores de Ingeniero White, 29 de julio.
- La Nueva Provincia, 2009. La conjunción de dos mareas inundó algunas calles de White, 30 de julio.
- La Nueva Provincia, 2009. ¿Doble marea o marea extraordinaria?, 22 de agosto.
- Lanfredi, N.; D'Onofrio, E. y Mazio, C., 1988. Variations of the mean sea level in the Southwest Atlantic Ocean, *Continental Shelf Research* 8:1211-1220. En: Proyecto de estudio sobre el cambio climático en Argentina. 1997. Proyecto Arg/95/G/31-PNUD-SECYT. Evaluación de la vulnerabilidad de la costa argentina al ascenso del nivel del mar, 62 pp.
- Linares, J., 2001. La situación en Ingeniero White, 19 de abril. En: La Nueva Provincia, 2001.
- Linsley, R., Kholer, M. y Paulus, J., 1977. Hidrología para ingenieros. 2da. Edición. Bogotá, Colombia. Editorial McGraw Hill, 382 pp.
- Lillesand, T. y Kiefer, R., 1994. Remote Sensing and image interpretation. John Wiley Sons, Inc. USA, 750 pp.
- Llamas, J., 1993. Hidrología General. Principios y aplicaciones. España. Universidad del País Vasco, 636 pp.

López Ramos A., 2000. Gestión de riesgos urbanos. Inundaciones urbanas en El Salvador. San Salvador. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Servicio Hidrológico Nacional, 41 pp.

M

Maderey Rascón, L., 1973. Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico: Cuenca del río Pabellón, afluente del río Aguascalientes. México. Editorial Recursos hidráulicos. Vol 2, Nº 2, pp. 166-176.

Martínez Fernández, J., 1986. Características morfométricas y de la red de drenaje de algunas cuencas de la Sierra de los Álamos (Moratalla, Murcia). Papeles de Geografía Física Nº 11, 45-51 pp.

Melo, W.; Schillizzi, R.; Piccolo, M. y Perillo, G., 2003. Influencia del área continental pampeana en la evolución morfológica del estuario de Bahía Blanca. Asociación Argentina de Sedimentología. Revista Volumen 10. Nº 1, pp. 65-72.

Meyer, T.; Roman, D. y Zilkoski, D., 2006. What does Height really mean? Part IV. GPS Orthometric Heighting. Department of Natural Resources Management and Engineering. University of Connecticut.

Moldes Teo, F., 1995. Tecnología de los sistemas de información geográfica. Editorial RA-MA. Madrid, 190 pp.

Mormeneo, I., 2006. Agrometeorología: Diagnóstico de los Alumnos que cursan Agrometeorología. En: Actas XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Argentina.

Müller, R., 1947. Compendio general de topografía teórico práctica. Editorial Escuelas Gráficas del Colegio León XIII. Buenos Aires. 268pp.

Municipalidad de Bahía Blanca., 1993. Código de Planeamiento de la ciudad de Bahía Blanca. XI capítulos sin numerar.

Murga, N., 2003. Diseño y construcción de desagües pluviales urbanos y suburbanos. Curso de postgrado. Bahía Blanca. Departamento de Ingeniería. UNS, pp. 64.

Murga, N., 2008. Trazado de isocronas. Cálculos de desagües pluviales. Ingeniero Civil: comunicación personal.

N

Nanía, L. y Gómez V., 2006. Ingeniería Hidrológica. Segunda Edición. Grupo Editorial Universitario. Granada, 280 pp.

Natenzon, C., 1995. Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. Buenos Aires. FLACSO. Serie Documentos e Informes de Investigación. Nº 197, 22 pp.

Natenzon, C.; 2003. Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias. En: Climate Change Impacts and Integrated Assessment EMF (Energy Modeling Forum) Workshop IX. Stanford University. Snowmass, Colorado, 16 p.

- Natenzon, C., 2004. Gestión Socio - Urbana y Participación Ciudadana en Políticas Públicas. Transversalidad, cogestión y autogestión en escenarios de transformación social, política y económica. Curso de postgrado. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Natenzon, C., 2008. Catástrofes, riesgo ambiental y vulnerabilidad social. Aspectos conceptuales, metodológicos y de gestión. Curso de postgrado. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Natenzon, C.; Marlenko, N.; Gonzalez, S.; Rios, D.; Murgida, A.; Meconi, G. y Calvo, A., 2003. Las dimensiones del riesgo en ámbitos urbanos. Catástrofes en el área metropolitana de Buenos Aires. En Procesos Territoriales en Argentina y Brasil. Bertonecello, R. y Alessandri Carlos, A. (compiladores) Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Universidad de San Pablo, Brasil, pp. 255-276
- Nie, L.; Schilling, W.; Ki.; Ånund, S.; Sveinung and Selseth, I., 2002. GIS Based Urban Drainage Analyses and Their Preliminary Applications in Urban Stormwater Management. ASCE – American Society of Civil Engineers – 9th International Conference on Urban Drainage. Portland, Oregon USA. Proceedings. Volume 112. Issue 40644, pp. 117-117. En: <http://www.cartesia.org/article.php?sid=409>
- Niño, E. 2008. Ortofoto, precisión y usos. <http://www.cartesia.org/articulo409.html>
- Nonn, H., 1987. Geografía de los litorales. Madrid. Akal Universitaria, 199 pp.
- Nueva, 2002. Revista Nº 597. Una ciudad pasada por agua, 22 de diciembre, pp. 24-25.
- O**
- Ojeda Zújar, J. y Villar Lama, A., 2006. Evolución del Suelo Urbano/Alterado del Litoral de Andalucía (1998-2004). El Acceso a la Información Espacial y Nuevas Tecnologías Geográficas. España. Granada. Editorial de la Universidad de Granada, pp. 336-377.
- Oñate-Valdivieso, F., 2006. Aplicación de técnicas de fotointerpretación, modelamiento hidrológico y SIG en un estudio de Hidrología urbana en la sierra ecuatoriana. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad Guayana, Venezuela, 7 pp.
- Oñate-Valdivieso, F. y Bosque Sendra, J., 2007. Extracción de modelos digitales de elevación a partir de imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas en cuencas hidrográficas. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Mar del Plata, Argentina, 9 pp.
- Oliver, M. y Webster, R., 1990. Int. J. Geographical Information System. Vol. 4. Nº 3, pp. 313-332.
- Organización de Estados Americanos. OEA , 1993. Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Washington, USA, 569 pp. En: <http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/begin.htm#Contents>.
- Orsolini, H.; Zimmermann, E. y Basile, P., 2000. Hidrología, procesos y métodos. Editora Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Santa Fe. Argentina. Vol.1, 319 pp.

P

- Palma, E., 1995. Modelo matemático de circulación con contorno variable. Desarrollo y aplicaciones. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur, 178 pp.
- Perdomo, R. y Del Cogliano, D., 1999. The geoid in Buenos Aires Region. International Geoid Service, Bulletin N° 9, pp. 109-116.
- Perdomo, R.; Del Cogliano, D.; Di Croche, N.; Napal, E.; Aldalur, B.; De Aduriz, A.; Napal, P.; Plana, N.; Pintos, I.; Martínez, M.; Rosso, S. y San Cristóbal, J., 1998. Red Geodésica con técnicas GPS. V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Volumen II. Mar del Plata, pp. 191-195.
- Perdomo, R.; Del Cogliano, D.; Di Croche, N. y Neumann, K., 2001. Advances in the calculation of a height transformation model in Buenos Aires Province, Vertical Reference Systems. IAG Symposia. Cartagena. Colombia. Vol 124, pp. 75-77.
- Pérez Morales, G. y Rodríguez Castro, J., 2009. Apuntes de Hidrología Superficial. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) Facultad de Ingeniería Civil. México, 115 pp.
- Perillo, G., 1989. Estuario de Bahía Blanca: definición y posible origen. Boletín del Centro Naval, 107 (757): 333-344.
- Perillo, G. y Piccolo, M., 1991. Tidal response in the Bahia Blanca estuary, Argentina. Journal of Coastal Research. 7.2, pp. 437-449.
- Perillo, G.; Piccolo, M.; Arango, J. y Sequeira, M., 1987. Hidrografía y circulación del estuario de Bahía Blanca (Argentina) en condiciones de baja descarga. Proceeding 2º congreso latinoamericano de ciencias del mar. La Molina. II:pp. 95-104.
- Petroni, R., 2005. Hidráulica marítima y de estuarios. Editorial DUNKEN, 541 pp.
- Piccolo, M., 1987. Estadística climatológica de Ingeniero White. Instituto Argentino de Oceanografía. Technical report, 73 pp.
- Piccolo, M. y Perillo, G., 1997. Geomorfología e hidrografía de los estuarios. En: Boschi E. El mar argentino y sus recursos pesqueros. Mar del Plata, Argentina. Cap 1: pp. 133-161.
- Pizarro, H.; Rodríguez, P.; Bonaventura, S.; O' Farrell, I. e Izaguirre, I., 2009. The sudestadas: a hydro-meteorological phenomenon that affects river pollution (River Luján, South America). Hydrological Sciences Journal, England, 52:4, pp. 702-712. [<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all?content=10.1623/hysj.52.4.702>].
- Ponce V., 1989. Engineering Hydrology. Principles and Practices. San Diego State Univ., Prentice Hall. [http://ponce.sdsu.edu/330textbook_hydrology_chapters.html].
- Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA), 2009. [<http://www.pnuma.org/industria/proceso%20apell.php>].
- Proyecto de estudio sobre el cambio climático en Argentina, 1997. Proyecto Arg/95/G/31-PNUD-SECYT. Evaluación de la vulnerabilidad de la costa argentina al ascenso del nivel del mar, 62 pp.

Puricelli, M., 2008. Problemas de escala en la utilización del método de la curva número (CN). XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de Funes, San Luis. Argentina.

R

Ramos, B. y Campo, A., 2008. Caracterización de estados de tiempo en el Suroeste bonaerense, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*. Santiago, Chile. N° 40: pp. 85-97.

Riccardi, G., 1997. Las prácticas de gestión óptima (BMP's) en el drenaje pluvial urbano. Cuadernos del Curiham. Rosario. Argentina. Vol.3. N°3. Primer semestre, pp. 79-104.

Rodrigo Hidalgo D.; Lily Alvarez C.; Alejandro Salazar B.; Rodrigo Lazcano A.; Francisco Roa P. y Daniela Fuentes P., 2004. Las Tecnologías de Información Geográfica y su aplicación al análisis urbano. El caso del estudio de los espacios residenciales cerrados en las áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona. Vol. VIII, N° 170 (31). [<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-31.htm>].

Rodríguez, R., 2005. Las estaciones GPS permanentes. [<http://www.copa.org.ar/Eljalon/estacionesGPS.htm>].

Rossiter, D. y Hengl, T., 2002. Creación de foto-interpretaciones geoméricamente corregidas, ortofotos, fotomosaicos y mapas base para un proyecto SIG. Soil Science Division, Internacional Institute for Geo-information Science & Herat Observation. (ITC). Holanda, 33 pp.

S

Sala Sanjaume, M. y Batalla Villanueva, R., 1996. Teoría y métodos en geografía física. España. Editorial Síntesis, 304 pp.

Sala, M. y Gay, R., 1981. Algunos datos morfométricos de la cuenca de Isábena. *Notes de Geografía Física*. N° 4. Department de Geografía, Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 41-65. En: Senciales González, J. 1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. Universidad de Málaga, 337 pp.

Sánchez, P., 2008. Nivelación para control de alturas ortométricas en Ingeniero White. Agrimensor: comunicación personal.

Sánchez San Román, F., 2004. Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación-Escorrentía. Universidad de Salamanca, España, 17 pp. [<http://web.usal.es/javisan/hidro>].

Sawaya, K.; Olmanson, L.; Heinert, N.; Brezonik, P. y Bauer, M., 2003. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resourced monitoring using high-resolution imagery. *University of Minnesota. USA Remote Sensing of Environment* 88, pp. 144-156.

Schmugge, T.; Kustas, W.; Ritchie, J.; Jackson, T. y Al, R., 2002. Remote Sensing in hydrology. *Advances in Water Resources*. Volume 25. Issues 8-12, pp. 1367-1385.

Schnegelberger, M., 2008. Análisis de los distintos planos de referencia. Agrimensor: comunicación personal.

- Schueler, T., 1987. Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, DC.
- Schumm, S. 1956. The evolution of drainage system and slopes in badlands at Pearth Amboy, New Jersey. *Bulletin of Geological Society of America* 67, pp. 597-646. En: Senciales González, J. 1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. Universidad de Málaga, 337 pp.
- Senciales González, J., 1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. Universidad de Málaga, 337 pp.
- Sequeira, M., 2006. Determinación de la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones en Bahía Blanca. *Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, pp. 69-78.
- SHN. Servicio de Hidrografía Naval, 2000. Tablas de marea para el año 2000, H 610. Puertos de la República Argentina y algunos puertos de Brasil, Chile y Uruguay. Armada Argentina. Talleres gráficos del Servicio de Hidrografía Naval. Buenos Aires, 577 pp.
- Simonovié, S., 1999. Social criteria for evaluation of flood control measures: Winnipeg case of study. *Canadá. UrbanWarter* 1, pp. 167-175.
- Siu-Ngan Lam, N., 1983. *The American Cartographer*. Vol. 10. N° 2, pp. 129-149.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional, 1992. Estadísticas Climatológicas, 1981-1990. Serie B-N° 37. Primera Edición. Buenos Aires. Argentina, 709 pp.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional, 2002. Datos de estadísticas climatológicas, 1991-2000. Publicación digital.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional, 2006a. Inundaciones Sudestadas y crecientes repentinas o aluviones. *Boletín digital informativo N° 2*. Buenos Aires.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional, 2006b. Viento zonda. Viento pampero. *Boletín digital informativo N° 13*. Buenos Aires.
- Soil Conservation Service, 1972. *National Engineering Handbook*. Section 4: Hidrology. United States Department Agricultura. Washington.
- Stolze, M., 2007. Problemáticas de alturas ortométricas en Ingeniero White. Agrimensor, Ex Director de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca: comunicación personal.
- Strahler, A., 1964. *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks*. En: Chow, V. 1999. Section 4-11 of *Handbooks of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Co. NewYork, pp. 39-76.
- Strahler, A., 1979. *Geografía física*. Barcelona: Omega, 767 pp.
- Strahler, A. y Strahler, A., 2005. *Geografía física*. Barcelona: Omega, 550 pp.

T

Torrero, M., 2009. Río Sauce Chico: Estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable. Tesis Doctoral en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Argentina, Bahía Blanca, 243 pp.

U

United States Bureau of Reclamation, 1966. Diseño de presas pequeñas (Design of small dams) una publicación técnica de recursos hidráulicos. México, D. F. Compañía Editorial Continental, 639 pp.

USEPA. United States Environmental Protection Agency, 1971. Software SWMM (Storm Water Management Model).

USACE. United State Army Corps of Engineers, 2001. Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual. US Army. Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 188 pp.

USDA-SCS. United State Department of Agricultura – Soil Conservation Service, 1964. Hydrology. Section 4, Part I, Watershed Planning. National Engineering Handbook. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington DC.

V

Vago, R., 1932. Utilización de las constantes armónicas de la marea. Buenos Aires. República Argentina, Ministerio de Marina - Servicio Hidrográfico, 121 pp.

Van der Sande, C., de Jong, S. y de Roo, A., 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Volume 4. Issue 3, pp. 217- 229.

Verettoni, H. y Aramayo, E., 1976. Comunidades vegetales de la región de Bahía Blanca. Harris Ed., Bahía Blanca, 175 pp.

Villón Béjar, M., 1994. HCanales para Windows. Manual del usuario. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Villón Béjar, M., 2008. HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. Tecnología en Marcha. Vol. 18, Nº 2 Especial, Costa Rica, pp. 67-75.

W

Water Pollution Control Federation, 1969. Design and Construction of Sanitary and Storm Sewer - ASCE. Manuals and Reports of Engineering. Practice Nº 17.

Y

Yurkievich, G., 2005. Inundaciones en la ciudad de Mar del Plata. Un ejemplo de falta de planificación y segregación socio-espacial de las infraestructuras en el marco de la IV Cumbre de las Américas. Simposio Problemáticas Ambientales. Séptimo Encuentro Internacional Humboldt. Villa de Merlo. San Luis. Argentina.

Z

- Zapperi, P., Casado, A., Gil, V., y Campo, A., 2006. Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense. IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, pp. 63-68.
- Zapperi, P.; Ramos, M.; Gil, V. y Campo, A., 2007. Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. Contribuciones Científicas, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 68 Semana de Geografía. Posadas, pp. 483-491.
- Zingoni, J., 1996. Arquitectura Industrial: Ferrocarriles y Puertos. Bahía Blanca, 1880-1930. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. EdiUNS, 148 pp.
- Zilkoski, D.; Carson, B. y Smith, C., 2000. A guide for establishing GPS-derived ellipsoidal heights. (Standards: 2cm and 5cm) - Version 4.3 NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58. National Geodetic Survey, Silver Spring, Maryland.

Manuales de programas utilizados

- ArcView GIS. The Geographic Information System for Everyone, 1996. GIS by ESRI, 366 pp.
- Moreno Jiménez, A., CañadaTorrecilla, R., Cervera Cruañes, B., Fernández García, F., Gómez García, N., Martínez Suarez, P., Moreno Jiménez, A., Prieto Flores, M., Rodríguez Esteban, J., Vidal Domínguez, M., 2007. Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGis. Departamento de Geografía Universidad Autónoma de Madrid. Ra-Ma. España, Madrid, 910 pp.

Anexo I

Modelo de entrevista aplicada en el trabajo de campo

Universidad Nacional del Sur - Departamento de Geografía y Turismo

Tema: Inundaciones y anegamientos

Fecha: 2007. Entrevista N° Dirección:

Objetivo: Analizar las consecuencias que las inundaciones ocasionan sobre la población de Ingeniero White y consultar datos históricos de interés que la misma pueda recordar.

- 1- ¿Lo afectó a usted alguna vez alguna inundación?
- 2- Si la sufrió, ¿recuerda usted alguna fecha?
- 3- Si vivió alguna inundación ¿se vio afectada su vivienda o lugar de residencia? (en cuanto a altura del agua).
- 4- Su vivienda se halla emplazada: ¿por sobre el nivel de vereda o debajo del nivel de vereda?
- 5- ¿Conoce usted los motivos que provocaron la inundación? Si No
- 6- Si los conoce ¿cuáles son?
- 7- ¿Sabe usted a dónde evacuaron a los damnificados?
- 8- ¿Qué instituciones colaboraron en el evento?
- 9- ¿Cuánto tiempo tardó en bajar el agua?
- 10- ¿Qué calles o zonas de Ingeniero White se han visto afectadas con más frecuencia?

Anexo III

Planillas del programa HidroEsta

Resultados – Cuenca I

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,3249	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	2,75518	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	25,88	residenciales familiares simples		0,5	
4	0,588	multifamiliares separadas		0,6	
5	0,297	multifamiliares concentradas		0,75	
6	0,3472	áreas industriales espaciadas		0,8	
7	0,8356	parques, cementerios		0,25	
8	12,96	calles asfaltadas		0,95	
9	1,4715	calles adoquinadas		0,85	
10	0,3535	techados		0,95	
11	1,7578	campos de juego		0,35	
12	1,9377	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,63
 Área total: 49,50838 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 97,85 min, es 19,36 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.63
 Área de la cuenca: 49,50838 ha
 I máx: 19.36 mm/hr
 Q máx: 1,660 m³/s

Resultados – Cuenca II

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	7,7185	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,5	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	11,31	residenciales familiares simples		0,5	
4	0,1714	multifamiliares separadas		0,6	
5	0,5871	áreas industriales espaciadas		0,8	
6	1,971	campos de juego		0,35	
7	21,998	patios de ferrocarril		0,4	
8	12,075	calles asfaltadas		0,95	
9	4,631	estacionamientos		0,85	
10	0,6862	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,63
 Área total: 61,6482 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 34,95 min, es 35,40 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.63
 Área de la cuenca: 61,6482 ha
 I máx: 35.4 mm/hr
 Q máx: 3,779 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 1

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,2303	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	13,012	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,1838	multifamiliares concentradas		0,75	
4	0,1306	parques, cementerios		0,25	
5	4,823	patios de ferrocarril		0,4	
6	15,563	zonas suburbanas		0,3	
7	6,115	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,48
 Área total: 40,0577 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 51,83 min, es 28,31 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.48
 Área de la cuenca: 40,0577 ha
 I máx: 28.31 mm/hr
 Q máx: 1,510 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 2

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,6635	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	1,8765	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,7563	multifamiliares separadas		0,6	
4	2,0671	parques, cementerios		0,25	
5	0,5875	calles asfaltadas		0,95	
6	1,4548	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,49
 Área total: 7,4057 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 31,85 min, es 37,31 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.49
 Área de la cuenca: 7,4057 ha
 I máx: 37,31 mm/hr
 Q máx: 0,353 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 3

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,4977	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,1981	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	2,9104	residenciales familiares simples		0,5	
4	0,2483	multifamiliares separadas		0,6	
5	0,0186	multifamiliares concentradas		0,75	
6	0,5502	áreas industriales espaciadas		0,8	
7	1,1536	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,68
 Área total: 5,5769 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 28,09 min, es 40,07 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.68
 Área de la cuenca: 5,5769 ha
 I máx: 40,07 mm/hr
 Q máx: 0,378 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 4

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,0911	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	9,0817	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,172	multifamiliares concentradas		0,75	
4	2,1328	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,59
 Área total: 11,4776 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 22,16 min, es 45,84 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.59
 Área de la cuenca: 11,4776 ha
 I máx: 45,84 mm/hr
 Q máx: 0,811 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 5

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	1,1553	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,0941	multifamiliares concentradas		0,75	
3	0,4151	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,63
 Área total: 1,6645 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 8,47 min, es 79,07 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.63
 Área de la cuenca: 1,6645 ha
 I máx: 79,07 mm/hr
 Q máx: 0,138 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 6

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	1,2949	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,4453	calles asfaltadas		0,95	
C ponderado:		0,62			
Area total:		1,7402 ha			

Cálculo del I máxima:
Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 8,27 min, es 80,16 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.62
 Área de la cuenca: 1,7402 ha
 I máx: 80,16 mm/hr
 Q máx: 0,138 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 7

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	2,0364	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,0725	multifamiliares separadas		0,6	
3	1,3296	zonas suburbanas		0,3	
4	0,9697	calles asfaltadas		0,95	
5	0,1852	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,53
 Área total: 4,5934 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 21,23 min, es 46,97 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.53
 Área de la cuenca: 4,5934 ha
 I máx: 46,97 mm/hr
 Q máx: 0,271 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 8

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	26,986	zonas suburbanas		0,3	
2	0,6054	calles asfaltadas		0,95	
3	0,7257	calles adoquinadas		0,85	
4	3,5601	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,33
 Área total: 31,8772 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 38,65 min, es 33,44 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.33
 Área de la cuenca: 31,8772 ha
 I máx: 33,44 mm/hr
 Q máx: 0,938 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 9

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	1,1943	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	28,921	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,9182	áreas industriales espaciadas		0,8	
4	1,8814	parques, cementerios		0,25	
5	139,959	zonas suburbanas		0,3	
6	2,2835	calles asfaltadas		0,95	
7	0,7515	calles adoquinadas		0,85	
8	0,0149	techados		0,95	
9	1,6296	campos de juego		0,35	
10	40,36	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,35
 Área total: 217,9134 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 76,49 min, es 22,70 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.35
 Área de la cuenca: 217,9134 ha
 I máx: 22,70 mm/hr
 Q máx: 4,641 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 10

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,3799	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,0225	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	6,156	residenciales familiares simples		0,5	
4	1,3072	multifamiliares separadas		0,6	
5	0,3935	parques, cementerios		0,25	
6	0,6032	zonas suburbanas		0,3	
7	3,2717	calles asfaltadas		0,95	
8	3,253	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,57
 Área total: 15,387 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,5
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,5
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 35,81 min, es 34,91 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.57
 Área de la cuenca: 15,387 ha
 I máx: 34,91 mm/hr
 Q máx: 0,808 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 11

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	1,2693	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,1866	multifamiliares separadas		0,6	
3	3,9656	multifamiliares concentradas		0,75	
4	0,0039	zonas suburbanas		0,3	
5	2,5412	calles asfaltadas		0,95	
6	3,7434	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,64
 Área total: 11,71 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 36,81 min, es 34,37 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.64
 Área de la cuenca: 11,71 ha
 I máx: 34,37 mm/hr
 Q máx: 0,665 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 12

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,9362	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,0889	multifamiliares separadas		0,6	
3	2,7306	parques, cementerios		0,25	
4	0,996	zonas suburbanas		0,3	
5	1,9504	campos de juego		0,35	
6	2,6152	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,33
 Área total: 9,3173 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 9,73 min, es 73,12 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.33
 Área de la cuenca: 9,3173 ha
 I máx: 73,12 mm/hr
 Q máx: 0,602 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 13

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	2,6082	residenciales familiares simples		0,5	
2	2,2347	calles asfaltadas		0,95	
3	2,4946	campos de juego		0,35	
4	2,6832	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,52
 Área total: 10,0207 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 44,02 min, es 31,06 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.52
 Área de la cuenca: 10,0207 ha
 I máx: 31,06 mm/hr
 Q máx: 0,448 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 14

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,4398	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,1132	parques, cementerios		0,25	
3	0,8044	calles asfaltadas		0,95	
4	0,5116	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,64
 Área total: 1,869 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 9,19 min, es 75,51 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.64
 Área de la cuenca: 1,869 ha
 I máx: 75,51 mm/hr
 Q máx: 0,133 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 15

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	2,1539	residenciales familiares simples		0,5	
2	1,3562	calles asfaltadas		0,95	
3	0,9638	campos de juego		0,35	
4	0,3031	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,59
 Área total: 4,777 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 29,40 min, es 39,04 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.59
 Área de la cuenca: 4,777 ha
 I máx: 39,04 mm/hr
 Q máx: 0,256 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 16

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,2874	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,0641	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	0,4727	residenciales familiares simples		0,5	
4	1,0536	multifamiliares separadas		0,6	
5	2,5854	parques, cementerios		0,25	
6	4,568	zonas suburbanas		0,3	
7	1,8494	calles asfaltadas		0,95	
8	0,8333	campos de juego		0,35	
9	2,4523	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,43
 Área total: 14,1662 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 28,75 min, es 39,55 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.43
 Área de la cuenca: 14,1662 ha
 I máx: 39,55 mm/hr
 Q máx: 0,652 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 17

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	2,1727	residenciales familiares simples		0,5	
2	1,564	zonas suburbanas		0,3	
3	1,0566	calles asfaltadas		0,95	
4	0,0616	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,53
 Área total: 4,8549 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 25,03 min, es 42,78 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.53
 Área de la cuenca: 4,8549 ha
 I máx: 42,78 mm/hr
 Q máx: 0,247 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 18

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	1,2226	residenciales familiares simples		0,5	
2	0,8319	calles asfaltadas		0,95	
3	0,0445	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,68
 Área total: 2,099 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 8,38 min, es 79,56 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.68
 Área de la cuenca: 2,099 ha
 I máx: 79,56 mm/hr
 Q máx: 0,298 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 19

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,8982	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,1976	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	1,4557	parques, cementerios		0,25	
4	2,9124	zonas suburbanas		0,3	
5	0,3056	calles asfaltadas		0,95	
6	1,3147	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,42
 Área total: 7,0842 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 12,29 min, es 64,04 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.42
 Área de la cuenca: 7,0842 ha
 I máx: 64,04 mm/hr
 Q máx: 0,523 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 20

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,2463	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	2,7871	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,3	multifamiliares separadas		0,6	
4	0,5277	parques, cementerios		0,25	
5	1,7631	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,63
 Área total: 5,6242 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 26,36 min, es 41,54 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.63
 Área de la cuenca: 5,6242 ha
 I máx: 41,54 mm/hr
 Q máx: 0,359 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 21

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,3853	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	2,8	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,152	multifamiliares separadas		0,6	
4	1,5895	calles asfaltadas		0,95	
5	0,528	campos de juego		0,35	
6	0,3905	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,61
 Área total: 5,8453 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 21,76 min, es 46,31 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.61
 Área de la cuenca: 5,8453 ha
 I máx: 46,31 mm/hr
 Q máx: 0,390 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 22

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,4182	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	5,6501	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,5464	multifamiliares separadas		0,6	
4	0,0737	parques, cementerios		0,25	
5	2,1105	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,62
 Área total: 8,798901 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 45,99 min, es 30,30 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.62
 Área de la cuenca: 8,798901 ha
 I máx: 30,30 mm/hr
 Q máx: 0,413 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 23

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,1697	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	1,023	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,0109	multifamiliares concentradas		0,75	
4	0,6432	calles asfaltadas		0,95	

C ponderado: 0,68
 Área total: 1,8468 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 14,77 min, es 57,70 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.68
 Área de la cuenca: 1,8468 ha
 I máx: 57,70 mm/hr
 Q máx: 0,108 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 24

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,1199	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
2	2,4316	residenciales familiares simples		0,5	
3	0,0806	multifamiliares concentradas		0,75	
4	0,4861	calles asfaltadas		0,95	
5	1,4035	campos de juego		0,35	
6	1,3652	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,47
 Área total: 5,8869 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 26,14 min, es 41,73 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.47
 Área de la cuenca: 5,8869 ha
 I máx: 41,73 mm/hr
 Q máx: 0,268 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 25

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	6,7149	campos de juego		0,35	
2	1,6528	campos de juego		0,35	
C ponderado:		0,35			
Area total:		8,3677 ha			

Cálculo del I máxima:
Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 14,93 min, es 57,35 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.35
 Área de la cuenca: 8,3677 ha
 I máx: 57,35 mm/hr
 Q máx: 0,443 m³/s

Resultados – Sub-cuenca 26

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Serie de datos de área, cobertura y de C parciales:

Nº	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	0,0411	áreas comerciales céntricas		0,95	
2	0,0479	áreas comerciales con vecindarios		0,7	
3	0,3112	residenciales familiares simples		0,5	
4	1,4974	áreas industriales espaciadas		0,8	
5	2,1481	parques, cementerios		0,25	
6	2,0654	campos de juego		0,35	
7	22,2348	zonas suburbanas		0,3	
8	2,1865	calles asfaltadas		0,95	
9	0,0028	estacionamientos		0,85	
10	11,293	campos de juego		0,35	

C ponderado: 0,37
 Área total: 41,8282 ha

Cálculo del I máxima:
 Valores de T, D y Imáx:

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	5,0	5,0	90,0
2	5,0	10,0	72,0
3	5,0	15,0	60,0
4	5,0	20,0	52,0
5	5,0	25,0	46,0
6	5,0	30,0	41,0
7	5,0	35,0	37,0
8	5,0	40,0	34,0
9	5,0	45,0	32,0
10	5,0	50,0	29,0
11	5,0	55,0	28,0
12	5,0	60,0	26,0
13	5,0	80,0	21,0
14	5,0	100,0	18,0
15	5,0	120,0	16,0

La I máx para un período de retorno de 5 años y una duración de 51,01 min, es 28,57 mm/hr

Resultados de los cálculos:

Coeficiente C: 0.37
 Área de la cuenca: 41,8282 ha
 I máx: 28,57 mm/hr
 Q máx: 1,180 m³/s

Anexo IV

Ventanas mostradas por el programa HidroEsta

Cálculo de Q	Cálculo de C	Cálculo de I
<p>Datos para calcular Q:</p> <p>Coefficiente C: <input type="text" value="0.63"/></p> <p>Área cuenca: <input type="text" value="61,6482"/> has</p> <p>Intensidad máxima (I): <input type="text" value="35.4"/> mm/hr</p> <p>para una duración igual al tiempo de concentración y un período de retorno T</p> <p>Resultado:</p> <p>Q máximo: <input type="text" value="3,779"/> m³/s</p>		



Cálculo de Q	Cálculo de C	Cálculo de I																																																																		
<p>Ingreso datos:</p> <p>Grupo N°: <input type="text" value="11"/></p> <p>Area (a): <input type="text"/> has</p> <p>Zonas no urbanas:</p> <p>Cobertura: <input type="text" value="Terrenos cultivados"/></p> <p>Textura: <input type="text" value="Franco arenosa"/></p> <p>Pendiente: <input type="text"/> %</p> <p>Zonas urbanas: <input type="text" value="Zonas urbanas"/></p> <p><input type="button" value="Agregar"/></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Grupo N°</th> <th>Área</th> <th>Cobertura</th> <th>Textura</th> <th>Pendiente</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>7,7185</td><td>áreas comerciales céntricas</td><td></td><td></td><td>0,95</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,5</td><td>áreas comerciales con vecindarios</td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> <tr><td>3</td><td>11,31</td><td>residenciales familiares simples</td><td></td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,1714</td><td>multifamiliares separadas</td><td></td><td></td><td>0,6</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,5871</td><td>áreas industriales espaciadas</td><td></td><td></td><td>0,8</td></tr> <tr><td>6</td><td>1,971</td><td>campos de juego</td><td></td><td></td><td>0,35</td></tr> <tr><td>7</td><td>21,998</td><td>patios de ferrocarril</td><td></td><td></td><td>0,4</td></tr> <tr><td>8</td><td>12,075</td><td>calles asfaltadas</td><td></td><td></td><td>0,95</td></tr> <tr><td>9</td><td>4,631</td><td>estacionamientos</td><td></td><td></td><td>0,85</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,6862</td><td>campos de iuego</td><td></td><td></td><td>0,35</td></tr> </tbody> </table> <p></p>	Grupo N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C	1	7,7185	áreas comerciales céntricas			0,95	2	0,5	áreas comerciales con vecindarios			0,7	3	11,31	residenciales familiares simples			0,5	4	0,1714	multifamiliares separadas			0,6	5	0,5871	áreas industriales espaciadas			0,8	6	1,971	campos de juego			0,35	7	21,998	patios de ferrocarril			0,4	8	12,075	calles asfaltadas			0,95	9	4,631	estacionamientos			0,85	10	0,6862	campos de iuego			0,35	<p>Resultados:</p> <p>C ponderado: <input type="text" value="0.63"/></p> <p>Área total: <input type="text" value="61,6482"/> has</p>
Grupo N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C																																																															
1	7,7185	áreas comerciales céntricas			0,95																																																															
2	0,5	áreas comerciales con vecindarios			0,7																																																															
3	11,31	residenciales familiares simples			0,5																																																															
4	0,1714	multifamiliares separadas			0,6																																																															
5	0,5871	áreas industriales espaciadas			0,8																																																															
6	1,971	campos de juego			0,35																																																															
7	21,998	patios de ferrocarril			0,4																																																															
8	12,075	calles asfaltadas			0,95																																																															
9	4,631	estacionamientos			0,85																																																															
10	0,6862	campos de iuego			0,35																																																															
<p> Calcular</p> <p> Limpiar</p> <p> Imprimir</p> <p> Menú Principal</p>	<p></p>	<p>Archivos y resultados:</p> <p> Crear</p> <p> Accesar</p> <p> Reporte</p>																																																																		

Cálculo de Q		Cálculo de C		Cálculo de I																																																													
Datos: Distancia al punto más alejado (L): <input type="text" value="1560.99"/> m Desnivel (H): <input type="text" value="0.93"/> m Período de retorno (T): <input type="text" value="5"/> años		Opciones cálculo: <input type="radio"/> Provincias Costa Rica <input checked="" type="radio"/> Registro de datos		Ingreso de los tríos de datos T, D, Imáx: Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER																																																													
La duración es conocida ? <input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trío</th> <th>T (años)</th> <th>Duración (min)</th> <th>I máx (mm/hr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>5,0</td><td>15,0</td><td>59,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,0</td><td>20,0</td><td>51,7</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,0</td><td>25,0</td><td>45,7</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,0</td><td>30,0</td><td>41,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,0</td><td>35,0</td><td>37,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>5,0</td><td>40,0</td><td>34,2</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,0</td><td>45,0</td><td>31,7</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,0</td><td>50,0</td><td>29,5</td></tr> <tr><td>11</td><td>5,0</td><td>55,0</td><td>27,7</td></tr> <tr><td>12</td><td>5,0</td><td>60,0</td><td>26,1</td></tr> <tr><td>13</td><td>5,0</td><td>80,0</td><td>21,3</td></tr> <tr><td>14</td><td>5,0</td><td>100,0</td><td>18,1</td></tr> <tr><td>15</td><td>5,0</td><td>120,0</td><td>15,8</td></tr> <tr><td>[>]</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)	3	5,0	15,0	59,0	4	5,0	20,0	51,7	5	5,0	25,0	45,7	6	5,0	30,0	41,0	7	5,0	35,0	37,3	8	5,0	40,0	34,2	9	5,0	45,0	31,7	10	5,0	50,0	29,5	11	5,0	55,0	27,7	12	5,0	60,0	26,1	13	5,0	80,0	21,3	14	5,0	100,0	18,1	15	5,0	120,0	15,8	[>]					
Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)																																																														
3	5,0	15,0	59,0																																																														
4	5,0	20,0	51,7																																																														
5	5,0	25,0	45,7																																																														
6	5,0	30,0	41,0																																																														
7	5,0	35,0	37,3																																																														
8	5,0	40,0	34,2																																																														
9	5,0	45,0	31,7																																																														
10	5,0	50,0	29,5																																																														
11	5,0	55,0	27,7																																																														
12	5,0	60,0	26,1																																																														
13	5,0	80,0	21,3																																																														
14	5,0	100,0	18,1																																																														
15	5,0	120,0	15,8																																																														
[>]																																																																	
Resultados: Tiempo de concentración ó duración (tc): <input type="text" value="97.85"/> min Intensidad máxima (I): <input type="text" value="19.36"/> mm/hr		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">  Calcular I </div>		Ecuación de cálculo de Imáx: <input type="text" value="Imáx = 0.0677*T^(5.1453) *D^(-0.5726)"/>																																																													

Anexo V

Tabla de valores del coeficiente de rugosidad n de Manning

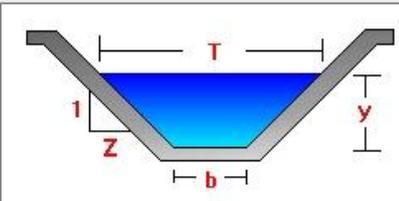
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Canales revestidos o desarmables			
B-1.			
Metal			
a. Superficie lisa de acero	0.011	0.012	0.014
1. Sin pintar	0.012	0.013	0.017
2. Pintada	0.021	0.025	0.030
b. Corrugado			
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera ...y con lados de:			
1. Piedra labrada en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de:			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacrado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030		0.500

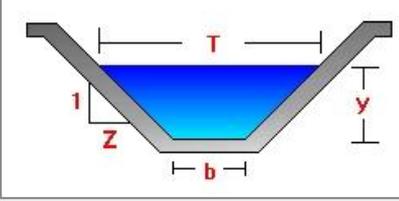
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas ...en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales ...sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ...ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras ...y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales ...y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

Las cifras en negrillas son los valores recomendados para el diseño.

Anexo VI

Ventanas mostradas por el programa HCanales

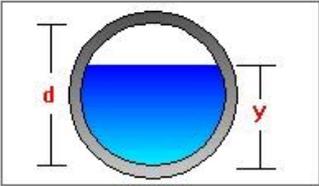
Lugar: <input type="text" value="Ingeniero White"/>	Proyecto: <input type="text"/>	 Calculadora	
Tramo: <input type="text" value="Canal Ca1"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Tierra"/>		
Datos:			
Tirante (y) :	<input type="text" value="0.91"/> m		
Ancho de solera (b) :	<input type="text" value="1.2"/> m		
Talud (Z) :	<input type="text" value="1.5"/>		
Coefficiente de rugosidad (n) :	<input type="text" value="0.025"/>		
Pendiente (S) :	<input type="text" value="0.0036"/> m/m		
Resultados:			
Caudal (Q) :	<input type="text" value="3,6267"/> m ³ /s	Velocidad (v) :	<input type="text" value="1,5537"/> m/s
Area hidráulica (A) :	<input type="text" value="2,3342"/> m ²	Perímetro (p) :	<input type="text" value="4,4811"/> m
Radio hidráulico (R) :	<input type="text" value="0,5209"/> m	Espejo de agua (T) :	<input type="text" value="3,9300"/> m
Número de Froude (F) :	<input type="text" value="0,6437"/>	Energía específica (E) :	<input type="text" value="1,0330"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	<input type="text" value="Subcrítico"/>	Cuidado velocidad erosiva	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> Ejecutar</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> </div>			

Lugar: <input type="text" value="Ingeniero White"/>	Proyecto: <input type="text"/>	 Calculadora	
Tramo: <input type="text" value="Canal Ca3"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Tierra"/>		
Datos:			
Tirante (y) :	<input type="text" value="0.34"/> m		
Ancho de solera (b) :	<input type="text" value="1.2"/> m		
Talud (Z) :	<input type="text" value="1.5"/>		
Coefficiente de rugosidad (n) :	<input type="text" value="0.025"/>		
Pendiente (S) :	<input type="text" value="0.0026"/> m/m		
Resultados:			
Caudal (Q) :	<input type="text" value="0,4575"/> m ³ /s	Velocidad (v) :	<input type="text" value="0,7870"/> m/s
Area hidráulica (A) :	<input type="text" value="0,5814"/> m ²	Perímetro (p) :	<input type="text" value="2,4259"/> m
Radio hidráulico (R) :	<input type="text" value="0,2397"/> m	Espejo de agua (T) :	<input type="text" value="2,2200"/> m
Número de Froude (F) :	<input type="text" value="0,4910"/>	Energía específica (E) :	<input type="text" value="0,3716"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	<input type="text" value="Subcrítico"/>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> Ejecutar</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> </div>			

Lugar: <input type="text" value="Ingeniero White"/>	Proyecto: <input type="text"/>	 Calculadora
Tramo: <input type="text" value="Co1"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Hormigón"/>	

Datos:

Tirante (y) :	<input type="text" value="1.370"/>	m
Diámetro (d) :	<input type="text" value="1.65"/>	m
Rugosidad (n) :	<input type="text" value="0.013"/>	
Pendiente (S) :	<input type="text" value="0.0013"/>	m/m



Resultados:

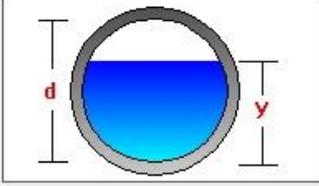
Caudal (Q) :	<input type="text" value="3.3236"/>	m ³ /s	Velocidad (v) :	<input type="text" value="1.7512"/>	m/s
Área hidráulica (A) :	<input type="text" value="1.8978"/>	m ²	Perímetro mojado (p) :	<input type="text" value="3.7825"/>	m
Radio hidráulico (R) :	<input type="text" value="0.5017"/>	m	Espejo de agua (T) :	<input type="text" value="1.2387"/>	m
Número de Froude (F) :	<input type="text" value="0.4517"/>		Energía específica (E) :	<input type="text" value="1.5263"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

 Ejecutar	 Limpiar Pantalla	 Imprimir	 Menú Principal
--	--	--	---

Lugar: <input type="text" value="Ingeniero White"/>	Proyecto: <input type="text"/>	 Calculadora
Tramo: <input type="text" value="Conducto Co2"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Hormigón"/>	

Datos:

Tirante (y) :	<input type="text" value="1.36"/>	m
Diámetro (d) :	<input type="text" value="1.70"/>	m
Rugosidad (n) :	<input type="text" value="0.013"/>	
Pendiente (S) :	<input type="text" value="0.00084"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q) :	<input type="text" value="2.7961"/>	m ³ /s	Velocidad (v) :	<input type="text" value="1.4364"/>	m/s
Área hidráulica (A) :	<input type="text" value="1.9466"/>	m ²	Perímetro mojado (p) :	<input type="text" value="3.7643"/>	m
Radio hidráulico (R) :	<input type="text" value="0.5171"/>	m	Espejo de agua (T) :	<input type="text" value="1.3600"/>	m
Número de Froude (F) :	<input type="text" value="0.3833"/>		Energía específica (E) :	<input type="text" value="1.4652"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

 Ejecutar	 Limpiar Pantalla	 Imprimir	 Menú Principal
--	--	--	---