

Impacto del cambio climático en el Gran La Plata

Compiladores:

Eduardo Kruse

Ramiro Sarandón

Fernanda Gaspari

Participantes

Se presenta una compilación sintética del informe final del proyecto: “Efectos del cambio climático en las condiciones ambientales de un sector costero del Río de La Plata” financiado por la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en el marco de Proyectos de Investigación, Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias (PIITAP, 2010-2012).

A continuación se enumeran los autores de este trabajo, de carácter interdisciplinario, en el cual participaron docentes investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAyG), y Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM):

Dirección:

Ramiro Sarandón (FCNyM)

Eduardo Kruse (FCNyM)

Codirección:

Enrique Schnack (FCNyM)

Daniel Del Cogliano (FCAyG)

Integrantes:

Fernanda J. Gaspari (FCAyF)

Enrique Fucks (FCNyM)

Raúl Perdomo (FCAyG)

Verónica Guerrero Borges (FCNyM)

Alfonso Rodríguez Vagaría (FCAyF)

Jorge Pousa (FCNyM)

Lautaro Simontacchi (FCAyG)

Silvina Carretero, (FCNyM)

Andreas Richter (FCAyG)

María Eugenia Gómez (FCAyG)

Diego Bagu (FCAyG)

María Paola Charó (FCNyM)

Jerónimo Ainchil (FCAyG)

Santiago Perdomo (FCAyG)

María Soledad Ruiz (FCAyG)

Sebastián Besteiro (FCAyF)

María Isabel Delgado (FCAyF)

Patricia Laurencena (FCNyM)

Luciano Mendoza (FCAyG)

Gustavo Nuccetelli (FCNyM)

María Florencia Pisano (FCNyM)

Leandro Rodríguez Capítulo (FCNyM)

María Florencia Tavarone (FCAyG)

Índice

Presentación

Prólogo

Introducción

Información de base

Área de estudio

Características generales

Condiciones climáticas

Caracterización edáfica

Caracterización socioeconómica

Modelo de elevación del terreno

Referencia altimétrica-mareográfica del puerto La Plata

Características geológicas y geomorfológicas

Cambio del uso del suelo

Condiciones hidrológicas

Agua superficial

Agua subterránea

Hidroquímica subterránea

Usos del agua

Dinámica costera

Ondas de tormentas positivas

Ondas de tormentas negativas

Ascenso relativo del nivel del agua

Ecosistemas

Zonificación ambiental

Tendencia del escurrimiento superficial

Análisis de vulnerabilidad

Modelo de Vulnerabilidad regional

Vulnerabilidad natural

Vulnerabilidad humana

Escenarios de cambio climático global (CCG)

Consideraciones finales

Recomendaciones

Anexo A

Metodología de procesamiento de información altimétrica

Análisis y validación de la información

Metodología de adquisición de datos GPS, transformación y validación de alturas.

Tabla A.1: Listado de los puntos que fueron medidos y la ménsula a la cual se vincularon

Altimetría satelital

Tabla A.2: Comparación de los valores provenientes de las fuentes de datos (diferencias entre Cota – SRTM).

El Modelo de Elevación Digital final

Bibliografía

Índice de tablas

Tabla 1: Estadística de datos de precipitación (Pp) promedio anual. (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Tabla 2: Complejos de suelos (Fuente: GIRSU 2009).

Tabla 3: Valores de salinidad en los niveles acuíferos (en mg/l).

Tabla 4: Alturas de alerta y evacuación, referidas al cero del Riachuelo, en distintas localidades costeras del Río de La Plata.

Tabla 5: Principales ecosistemas identificados en el área de estudio (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Tabla 6: Vulnerabilidad natural en función de los ecosistemas (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Tabla 7: Vulnerabilidad natural en función del valor patrimonial (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Tabla 8: Dimensiones y variables para la estimación de las Necesidades Básicas Insatisfechas de una población (Fuente: CEPAL/PNUD, 2001).

Índice de gráficos

Gráfico 1a: Tendencias de la precipitación para el período 1909 – 2011 (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Gráfico 1b: Evolución de la lluvia anual y tendencias para el período en estudio, según estación meteorológica (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Gráfico 2: Cambios de la superficie de ocupación en la cobertura del suelo.

Gráfico 3: Serie temporal de niveles de agua (Mareógrafo Buenos Aires).

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP-PITAP).

Figura 2: Mapa de suelos del área de estudio.

Figura 3: Mapa del modelo de elevación del terreno del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Figura 4: Mapa geomorfológico del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Figura 5: Perfiles geológicos del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Figura. 6: Mapa de usos del suelo para los escenarios 1986 - 2011 – 2050, (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 7: Mapa sistema de drenaje del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Figura 8: Mapa flujo subterráneo del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Figura 9. Carta sinóptica del tiempo en la noche del 15 de abril de 1940. Referencias: H = anticiclón; L = ciclón (depresión). Los números sobre las isobaras indican la presión en hPa. (Fuente Modificada de Balay, 1961).

Figura 10: Mapa de ecosistemas y relación con categorías de uso y cobertura en el área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Figura 11: Mapa áreas protegidas en el área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Figura. 12: Tendencia de la evolución de la escorrentía media anual en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050 (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 13. Mapa de Tendencia de la evolución del coeficiente de escorrentía en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050., (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 14. Mapa de vulnerabilidad natural (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 15. Mapa de vulnerabilidad humana (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 16. Simulación del efecto del CCG sobre la vulnerabilidad humana (escenarios para cota: 2,25; 2,75; 3,80 y 4,40 msnm) (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Figura 17. Simulación del efecto del CCG sobre la vulnerabilidad natural (escenarios para cota: 2,25; 2,75; 3,80 y 4,40 msnm) (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Presentación

Lo que actualmente se denomina cambio climático global (CCG) se relaciona con un incremento de la temperatura media superficial del planeta como resultado de las actividades humanas, pudiendo tener importantes consecuencias sobre los aspectos sociales, productivos, económicos o ambientales de una región. Existen dos tipos de respuestas posibles frente a los impactos del CCG, las de mitigación, que apuntan directamente a las causas del problema (reducción de los gases de efecto invernadero), y las de adaptación que tienden fundamentalmente a minimizar sus impactos negativos (sequías o inundaciones).

En este contexto, un equipo interdisciplinario de investigadores ha desarrollado un proyecto de investigación aplicado, financiado por la propia UNLP (UNLP PITAP, 2010-2012), que tuvo por objetivo el análisis de las consecuencias ambientales del CCG sobre un sector costero del Río de la Plata (partidos de Berisso, Ensenada y La Plata). A continuación se presenta una síntesis del informe final de este proyecto destinado a un público general, y que incluye datos básicos generados en el proyecto, así como mapas de vulnerabilidad ambiental (natural, social) frente a diferentes escenarios de CCG, los que pueden ser de utilidad tanto para comprender eventos extremos como el registrado recientemente en la región, como para la gestión del territorio, la planificación de infraestructura, ocupación y uso del suelo, o en cualquier evaluación o manejo de recursos naturales de la región.

De la información generada, es importante resaltar el Sistema de Información Geográfica (SIG); los modelos cartográficos y mapas del área en estudio (topográfico, geomorfológico, edáfico, hidrográfico, ecológico); un modelo digital de elevación, mapa de pendientes y orientación del terreno; modelos conceptuales de la interrelación entre niveles freáticos, niveles de aguas superficiales y del estuario del Río de La Plata; y del comportamiento de mareas y ondas de tormenta en la zona costera; mapas de escurrimiento (Período 1968, 2011, 2050), de cobertura y uso actual del suelo (1986, 2011); de los principales ecosistemas y áreas protegidas; mapa de zonificación ambiental; así como modelos de vulnerabilidad ambiental (natural y humana); y mapas de simulación de escenarios de CCG en el área.

Los resultados del diagnóstico regional indican que los ecosistemas naturales más vulnerables a eventuales modificaciones en las características hidrológicas asociada al CCG son aquellos actualmente más dependientes de la dinámica hídrica local y regional (cuerpos de agua de la zona costera, lagunas), seguidos por los humedales regionales comprendiendo las áreas bajas inundables, tanto en la zona costera (Berisso y Ensenada), como continental (La Plata). Por su parte, los sectores que presentan una mayor vulnerabilidad humana (socioeconómica), se localizan tanto en la zona costera (Isla Paulino), como en la zona continental (barrios periféricos de la ciudad de La Plata sin infraestructura, ni servicios, de desarrollo espontáneo o no planificado).

Las predicciones respecto a los escenarios futuros de CCG se refieren a períodos de 20, 50 o 100 años. En este contexto, debe reconocerse que simultáneamente a un eventual CCG se producen modificaciones en la fisonomía de la región, incluyendo cambios en el uso del suelo por actividades agropecuarias (incorporación de invernáculos en áreas rurales), o por el desarrollo urbano y de infraestructura regional. Estos cambios pueden modificarla dinámica del agua superficial y subterránea, por un aumento de la cobertura del suelo, eliminación de una cubierta vegetal absorbente o aumento de la extracción de agua de los acuíferos para riego, afectando la disponibilidad de agua y la magnitud de los excesos hídricos (inundaciones).

Se efectuó una modelización de la interacción entre los cambios del uso del suelo y la evolución pluvial con el fin de pronosticar su influencia sobre la escorrentía superficial a escala regional para el período 1968 - 2011 - 2050. La tendencia temporal de la precipitación, muestra un incremento de las precipitaciones de un 9,4%. Esta tendencia se utilizó para proyectar al año 2050 las lluvias medias anuales. Por su parte, los cambios de superficie de ocupación del uso del suelo en el período 1986 - 2011, se utilizaron para proyectar el período 2011 - 2050. Los cambios más significativos en la cobertura y uso del suelo son la pérdida del pastizal natural y de los cuerpos de agua (permanentes o temporarios); así como el incremento de la urbanización y de los invernáculos (se estima una superficie de 2080 has para 2050). Complementariamente se analizó la interacción entre los cambios del uso del suelo y la evolución pluvial, con el fin de pronosticar la escorrentía superficial hasta el año 2050.

El análisis de los efectos del CCG se enfocó a los cambios en variables hidrológicas, tanto referidas al nivel del mar (o del Río de La Plata), como el nivel medio de las precipitaciones. Los escenarios de cambios asociados al CCG analizados, para los cuales se han generado escenarios de simulación espacializados, incluyen las siguientes

condiciones: situación normal o media (0,30 m); de marea alta (1,10 m); de sudestada media (2,25 m); de sudestada extrema (2,75 m) y de crecida histórica (4,40 m). Los resultados indican claramente el incremento en el área inundada a medida que se incrementa el nivel del RLP, para un evento frecuente (sudestada media: 2,25 m) o un evento infrecuente o de muy baja recurrencia, como fue la crecida histórica registrada en la región (Cota 3,80 m).

Las conclusiones más relevantes de estos análisis indican que los efectos del CC sobre la región son heterogéneos, variando en las causas, procesos y efectos determinantes, dependiendo de la zona (continental o costera) que se trate. Los efectos del CCG sobre la región y la transformación tendencial del territorio son similares, pudiendo tener efectos sinérgicos (multiplicativos) sobre la dinámica hídrica regional, especialmente lo referente al riesgo de incremento de inundaciones por eventos extraordinarios en el sector continental de la región. En la zona continental, los efectos asociados al cambio en el uso del suelo serán más importantes que los vinculados al CCG, debiendo planificar como medidas preventivas medidas estructurales (limpieza de cauces y cursos, preparar zonas de amortiguación de inundaciones) y medidas no estructurales (normativas de uso del suelo) como medidas preventivas. En la zona costera, los efectos asociados al CCG serán más evidentes durante eventos extraordinarios (sudestadas), debiendo planificar medidas estructurales (obras de defensa costera) y no estructurales (normativas de uso del suelo) como medidas preventivas para minimizar los mismos. Complementariamente implementar medidas de respuesta (contingencia) frente a inundaciones costeras (sudestadas).

Sobre esta base se recomienda en la Zona continental: i) Promover la creación o el mantenimiento de zonas verdes como resguardo frente a inundaciones (áreas de inundación programada que actúan de amortiguación de la onda de crecida); ii) Limitar el crecimiento y ocupación de zonas potencialmente inundables, especialmente del cauce mismo de los arroyos; y iii) Asegurar el mantenimiento de los cursos de agua y canales, por medio de la limpieza de los cauces, el desmalezamiento, etc.

Para la Zona Costera se recomienda: i) Incorporar obras costeras que incluyan zonas de parques con infraestructura resistente a la sudestada; ii) Limitar ocupación del borde costero y mantener restricciones al uso en zonas bajas (planicie de inundación de arroyos, bañados, depresiones), potencialmente inundables, evitando los nuevos rellenos en esos sectores; y iii) Incorporar obras de contención adyacentes a centros poblados o urbanos, mantener la cota de relleno que minimice efecto de inundación por sudestada.

A fin de generar estrategias de adaptación al CCG pueden plantearse medidas para el manejo del territorio de forma tal que contrarresten los efectos de aquel. A tal fin, se debería disminuir la vulnerabilidad humana planificando la ocupación del territorio en sectores de baja vulnerabilidad natural. Por otro lado, se debería mantener en estado de naturalidad aquellos sectores de mayor vulnerabilidad natural a fin de que amortigüen los efectos del incremento en las amenazas asociadas al CC. Ambas medidas pueden romper la eventual sinergia potencial entre los efectos previsibles asociados al CC y la tendencia de transformación del territorio evidenciado en este estudio.

Prólogo

En el año 2010, el Consejo Superior de la UNLP aprobó una partida de fondos para ser destinada a “proyectos especiales”. Estos proyectos, luego denominados PIITAP (Proyectos de Investigación, Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias) tenían objetivos muy claros, debían plantear la solución de problemas concretos o abordar estudios diagnósticos que permitieran definir políticas y planificar estrategias en temas considerados estratégicos para la región.

La UNLP se proponía de esta manera impulsar la investigación aplicada orientada a la resolución de problemas concretos del medio socio-productivo. Para esta primera convocatoria, se eligieron temas relacionados con el cambio climático, el cuidado del ambiente, energía, transporte y otros vinculados con los anteriores.

Desde entonces se han concretado otras tres convocatorias desde la Secretaría de Investigaciones y desde la Secretaría de Extensión alternativamente, siempre con la mirada en los temas de interés social, productivo, u orientados a la planificación local o regional.

Ha resultado muy auspicioso para la UNLP que el MINCyT estableciera más o menos en los mismos tiempos una comisión de trabajo para analizar las pautas de evaluación de recursos humanos en Ciencia y Tecnología. Para aportar conclusiones y elementos de debate a esa comisión, la Comisión de Ciencia Técnica y Arte (CCTyA) del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) presidida por la UNLP organizó y llevo adelante durante el año 2012 dos talleres de discusión sobre estos temas en Vaquerías (UNC) y Catamarca.

Como resultado de los mismos, y del trabajo de la comisión del MINCyT se definieron los proyectos “PDTS” (Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social), aprobados por el MINCyT con el acuerdo del plenario de Rectores del CIN.

Con satisfacción se puede afirmar que los proyectos PDTS definidos a nivel nacional como proyectos orientados a satisfacer demandas del sector social, productivo, gubernamental guardan una gran similitud con los proyectos PIITAP – UNLP. Dicho de otro modo, la UNLP no solo se adelantó un par de años en el pensamiento del sistema de ciencia y técnica, sino que aportó decididamente al proceso de definición de los

PDTS a partir del trabajo en la propia comisión del MINCyT y de la Comisión de CCTyA del CIN.

En este contexto, los resultados del proyecto “Efectos del cambio climático en las condiciones ambientales de un sector costero del Río de La Plata” que se presentan en esta publicación constituyen un claro ejemplo de lo que la UNLP aspiraba con los PIITAP. Para el caso, un estudio exhaustivo, multidisciplinario y con proyección hacia el futuro de la región en un escenario de cambio climático, con el incremento de las actividades productivas, el aumento poblacional, entre otros factores.

Los Municipios de Ensenada y Berisso, y la Autoridad del Agua son los organismos adoptantes de los resultados de estos estudios. Es particularmente importante entonces el esfuerzo del grupo de trabajo de este proyecto de producir este libro que trascenderá el momento actual y se constituirá en una referencia concreta, tangible para las gestiones institucionales actuales y del futuro.

En él se exponen aspectos tales como la caracterización de la región en base a antecedentes y generación de información, geológica – geomorfológica, climática, de vegetación y uso del suelo. A partir de las condiciones hidrológicas, dinámica costera y desarrollo de ecosistemas se plantean distintos escenarios de evolución ambiental en sus condiciones naturales y antropizadas tanto para el medio físico como el social.

Los productos generados se asocian a: modelo digital del terreno, comportamiento de ascenso relativo del nivel del mar, diferentes escenarios de cambios climáticos, modelos conceptuales de evolución ambiental según los escenarios mencionados y las variaciones en las actividades del hombre en el territorio. Además se elaboraron mapas de vulnerabilidad ambiental, lineamientos de estrategias y medidas de prevención, corrección y/o adaptación a los riesgos naturales asociados al cambio climático.

El trabajo conjunto entre especialistas de distintas disciplinas ha posibilitado el enriquecimiento de todos e incursionado en una modalidad de trabajo que se presenta como “obligatoria” para afrontar problemas complejos como la mayoría de los que actualmente se presentan en la investigación aplicada.

Los diferentes trabajos realizados en el marco de este proyecto han dado lugar a presentaciones en congresos, publicaciones, tesinas, formación de recursos humanos (7 becarios laborales financiados con los fondos asignados al proyecto). La investigación orientada al análisis y solución de problemas concretos no está necesariamente divorciada de la investigación básica y los parámetros tradicionales de publicación de resultados científicos, al contrario, se trata de actividades complementarias que en

muchos casos generan un círculo virtuoso, alimentando con problemas reales el ámbito del aula o el laboratorio.

Raúl A. Perdomo
Vicepresidente Área Institucional
Universidad Nacional de La Plata

Introducción

El cambio climático puede ser definido como un cambio en la tendencia de las características climáticas (y en su variabilidad), ya sea por un crecimiento o decrecimiento en alguno de los valores medios, durante un determinado período (usualmente décadas o más) (SAyDS, 2013). Actualmente suele entenderse como el fenómeno de cambio climático, lo relacionado con un incremento de la temperatura media superficial del planeta consecuencia de actividades humanas. Este incremento se produciría en forma diferencial en distintas regiones, generando modificaciones en otras variables climáticas como el viento y la precipitación, además de un ascenso del nivel medio del mar. Este concepto, originado en ámbitos científicos y académicos, y en desarrollo y ajuste desde hace más de 20 años, ha tomado notoriedad pública en los últimos años cristalizando aquella idea que vincula directamente, las actividades humanas con los cambios en el clima.

.Sin embargo, es importante aclarar que en ámbitos científicos su análisis y comprensión continúa en un contexto de aporte de evidencias, datos e interpretaciones. Por un lado, se debe tener en cuenta que el clima de la Tierra ha cambiado muchas veces a lo largo de su historia geológica; hace unos 12.000 años, por ejemplo, la Tierra atravesaba un período de intenso frío (“fase de enfriamiento climático”, denominada Dryas joven). Por otro lado, existen fenómenos naturales, ya sean astronómicos (dinámica de las manchas solares, características de la órbita de la Tierra alrededor del Sol), geológicos (dinámica de volcanes, tectonismo) u oceanográficos (corrientes oceánicas) que actualmente modifican la relación de equilibrio entre la energía solar entrante y la energía saliente del planeta, pudiendo generar cambios en el clima global. En este sentido, es motivo de controversia la diferenciación entre los cambios naturales y aquellos asociados a la actividad del hombre. Independientemente de su origen, existen pruebas de que ha habido cambios en ciertas características climáticas en los últimos 25 a 30 años (mayor temperatura, mayor humedad y mayores precipitaciones). Es evidente que estos cambios climáticos pueden tener importantes consecuencias (“impactos negativos o positivos”) en los aspectos sociales, productivos, económicos o ambientales de una región. Por un lado, condicionan las actividades productivas agropecuarias (sequía), por el otro incrementan los riesgos naturales asociados a eventos

extremos (lluvias torrenciales, inundaciones, etc.). Asimismo, muchas regiones pueden verse beneficiadas por estos cambios del clima, ya que pueden aumentar las precipitaciones en zonas actualmente marginales, con la consecuente intensificación de las actividades agropecuarias.

En relación con los aspectos extremos del cambio climático (sequía e inundaciones), existen dos tipos de respuestas posibles frente a los impactos del cambio climático, las de mitigación, que apuntan directamente a las causas del problema (reducción de los gases de efecto invernadero o de la deforestación), y las de adaptación que tienden fundamentalmente a minimizar los impactos negativos del cambio en el clima, por ejemplo de las sequías o inundaciones (SAyDS, 2009).

En el caso particular de los sectores costeros, la comprensión y predicción de los efectos de eventuales cambios climáticos, son críticas en estas zonas, y en general en los países en desarrollo, debido a la escasez o falta de datos básicos que permitan evaluar a una escala adecuada el grado de vulnerabilidad frente a los diferentes fenómenos. Cualquier respuesta que trate de afrontar esta problemática requiere contar con información básica referida a las características del medio físico y humano, y su respuesta frente a posibles escenarios de cambios en el clima.

En este contexto, un equipo interdisciplinario de investigadores de distintas unidades académicas de la UNLP, ha desarrollado un proyecto de investigación aplicada, financiado por la propia UNLP (UNLP PITAP, 2010-2012), que tuvo por objetivo el análisis de las consecuencias ambientales del cambio climático sobre un sector costero del Río de la Plata (partidos de Berisso y Ensenada).

A continuación se presenta una síntesis del informe final de este proyecto (finalizado en junio de 2013), en el que se incluyen sus principales resultados y aportes para una mejor comprensión del problema. Este informe sintético está destinado a un público general, e incluye datos básicos generados en el proyecto, así como mapas de vulnerabilidad ambiental (natural, social) frente a diferentes escenarios de cambio climático, lo cual puede ser de utilidad como herramienta de gestión del agua y para comprender eventos extremos como el registrado recientemente (2 de abril de 2013) en la región. Sin embargo, debe señalarse que ni las causas, ni las consecuencias específicas relacionadas con este evento, han sido el objeto de este estudio.

Información de base

En el marco del proyecto PIT AP UNLP se ha generado información de campo y gabinete original, correspondiente al área de estudio que abarca los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada, y cuyo interés no se limita a la finalidad de la investigación sino que podrá ser utilizada por otras instituciones públicas, tales como los municipios de Berisso y Ensenada, o la Autoridad del Agua, que son los beneficiarios formales de este proyecto (UNLP PITAP, 2012).

Dicha información es de utilidad para la gestión del territorio, la planificación de infraestructura, ocupación y uso del suelo, o en cualquier evaluación o manejo de recursos naturales de la región. Especialmente importante es:

- i) el Sistema de Información Geográfica (SIG), que ha permitido organizar la información georreferenciada;
- ii) modelos cartográficos y mapas del área en estudio, por ejemplo: sistema de drenaje superficial, cuencas hidrográficas, mapa de suelo, mapa de condiciones hidrológicas del suelo (grupo hidrológico), mapa geológico – geomorfológico;
- iii) modelo digital de elevación integrado con información existente y nuevos relevamientos, mapa de pendientes y orientación del terreno;
- iv) modelo conceptual de la interrelación entre niveles de aguas subterráneas, niveles de aguas superficiales y del estuario del Río de la Plata;
- v) reconocimiento del comportamiento de mareas y ondas de tormenta en la zona costera,
- vi) mapa de cobertura y uso actual del suelo (generado a partir del análisis de información satelital para distintos años 1986 – 2011);
- vii) mapa de los principales ecosistemas regionales, mapa de áreas protegidas;
- viii) mapa de escurrimiento medio anual y tendencia (período 1968 – 2011 – 2050) y mapa de coeficiente de escurrimiento medio anual y tendencia (Período 1968 – 2011 – 2050);
- ix) mapa de zonificación ambiental, modelo de vulnerabilidad ambiental (natural y humana);
- x) modelos y mapas de simulación de escenarios de cambio climático.

Área de estudio

Características generales

El área de estudio abarca a las cuencas hidrográficas que drenan hacia el Río de la Plata en los municipios de Berisso, Ensenada y La Plata (Fig. 1). El aglomerado urbano de estas localidades constituye lo que se denomina Gran La Plata.

En esta región, en la última década, la emigración de la población hacia la periferia en busca de nuevas oportunidades laborales y de un nuevo hábitat, se traduce en un aumento de la ocupación de nuevas superficies en los límites físicos entre los ámbitos urbanos y no urbanos. Con esta expansión, tierras que se destinaban a explotaciones primarias intensivas presentan ahora otros usos del suelo, propios de un área urbana. (Frediani y Matti; 2006). Así, los suelos agrícola-intensivos van cediendo lugar a una ocupación relacionada con el uso residencial permanente o de fin de semana, el uso recreativo o de esparcimiento, el uso industrial, entre otros (Frediani, 2009).

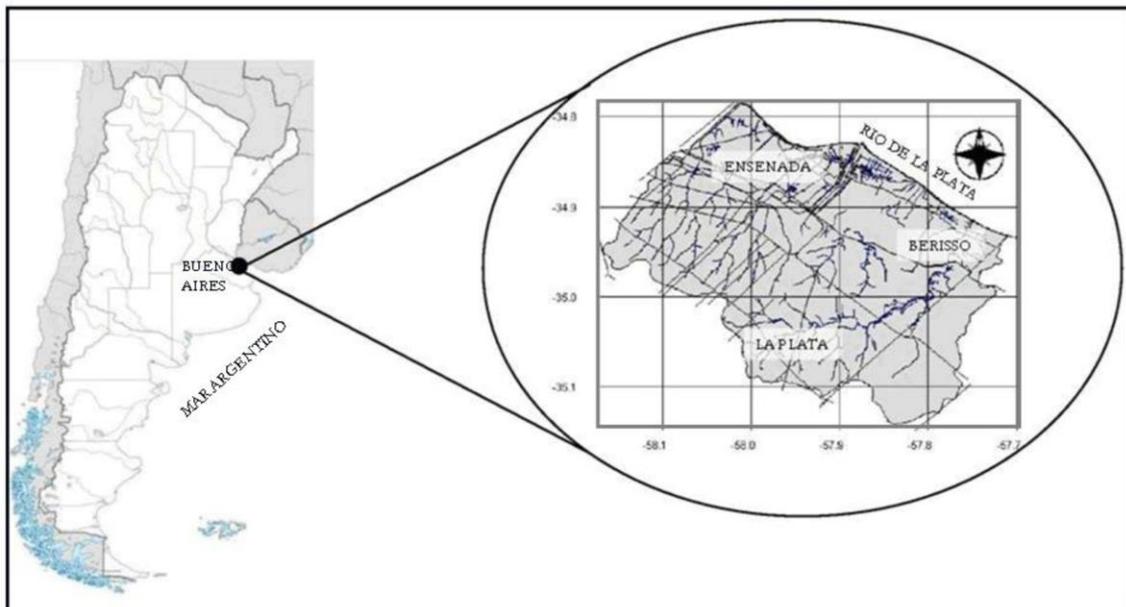


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Condiciones climáticas

El clima es templado – húmedo, con una precipitación media de 1.079 mm/año, y una temperatura media anual de 15,7 °C, con una humedad relativa promedio del 77 % a lo largo del año. Las características climáticas indican la existencia de excesos de agua que permiten la infiltración, escurrimiento y almacenamiento en los sectores deprimidos. La velocidad media del viento anual es de 18.9 km/h, con una mayor frecuencia de las direcciones Este y Nor-Este. De acuerdo al balance hídrico, el clima de la región es B2C'2“r”a' (en el sistema de Thornthwaite), correspondiente a un clima húmedo (B2), microtermal (C'2), lo que indica que posee valores de evapotranspiración mayores a 570 mm, con nula o pequeño deficiencia de agua (“r”) y porcentaje de la concentración estival de la eficiencia termal inferior a 33.9 % (a').

La serie anual de las precipitaciones (1909 – 2011) indica la alternancia de ciclos húmedos y secos, con una máxima anual ocurrida en 1914 con 1926 mm y una mínima de 416,5 mm en 1916. En este período de registros las precipitaciones anuales presentan una leve tendencia al aumento (entre 960 y 1050 mm) que está en el orden del 10% (Gráfico 1a).

Se efectuó un análisis temporal de la precipitación, considerando los dos períodos entre 1968 - 2011 para las estaciones meteorológicas del Aeródromo de La Plata y del Observatorio de La Plata, en el partido de La Plata (Tabla 1). Para evaluar la tendencia de la precipitación se tuvieron en cuenta los datos diarios.

Posteriormente, se compatibilizaron las series temporales de lluvia diarias, según los períodos completos de información. Luego se dividió cada serie según los años: 1968-1989 (pasado) y 1990-2011 (actual).

Tabla 1: Estadística de datos de precipitación (Pp) promedio anual. (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Promedio	Observatorio		Aeródromo	
	1968-1989	1990-2011	1968-1989	1990-2011
Pp anual (mm)	1028,2	1124,4	980,9	1072,3
Días con lluvia	105,2	121,8	100,8	110,6
Pp Máx Diaria (mm)	86,0	97,3	84,1	86,9

Siendo Pp Máx: Precipitación máxima

La Tabla 1 expresa que es leve el cambio histórico de las precipitaciones, representado por el 9,4% para el período.

Para un análisis de tiempo con incidencia como cambio climático, se consideraron tres escenarios: pasado - presente – futuro (o proyectado), considerando períodos de 22 años cada uno, entre 1968 - 2011 - 2050, respectivamente. La proyección pluviométrica para el período 2029-2050 (22 años) se realizó por medio de un coeficiente de proyección lineal, obtenido a partir de la evolución de la precipitación media anual para cada uno de los períodos, para cada estación (Gráfico 1b). El coeficiente de proyección utilizado fue de 1,094 para ambas estaciones.

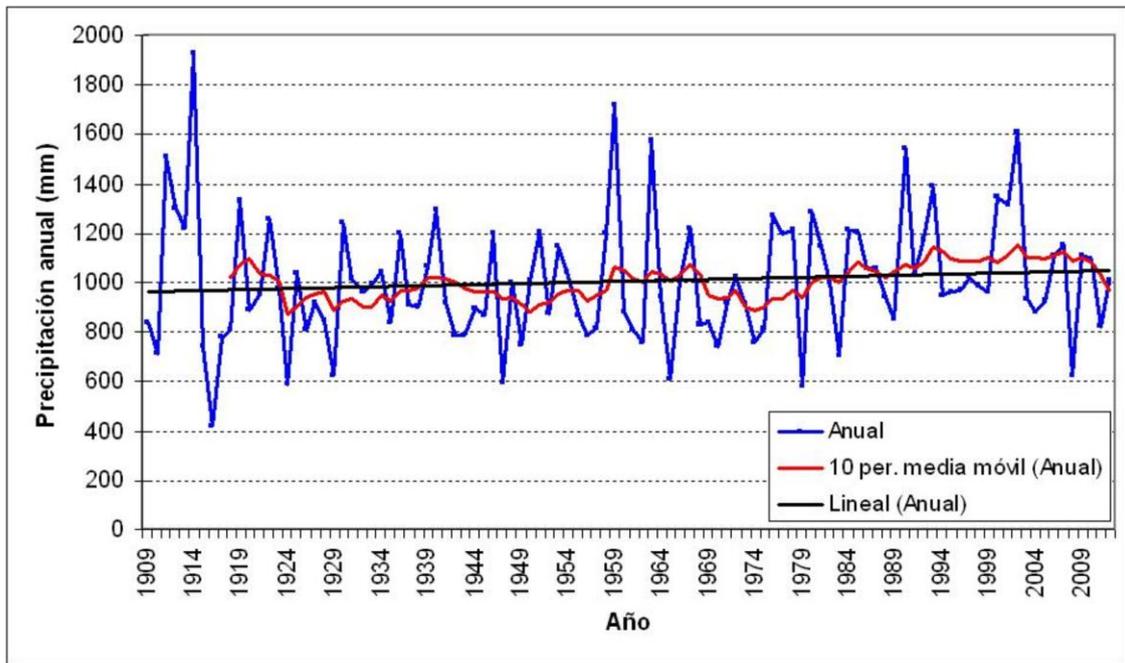


Gráfico 1a: Tendencias de la precipitación para el período 1909 – 2011 (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

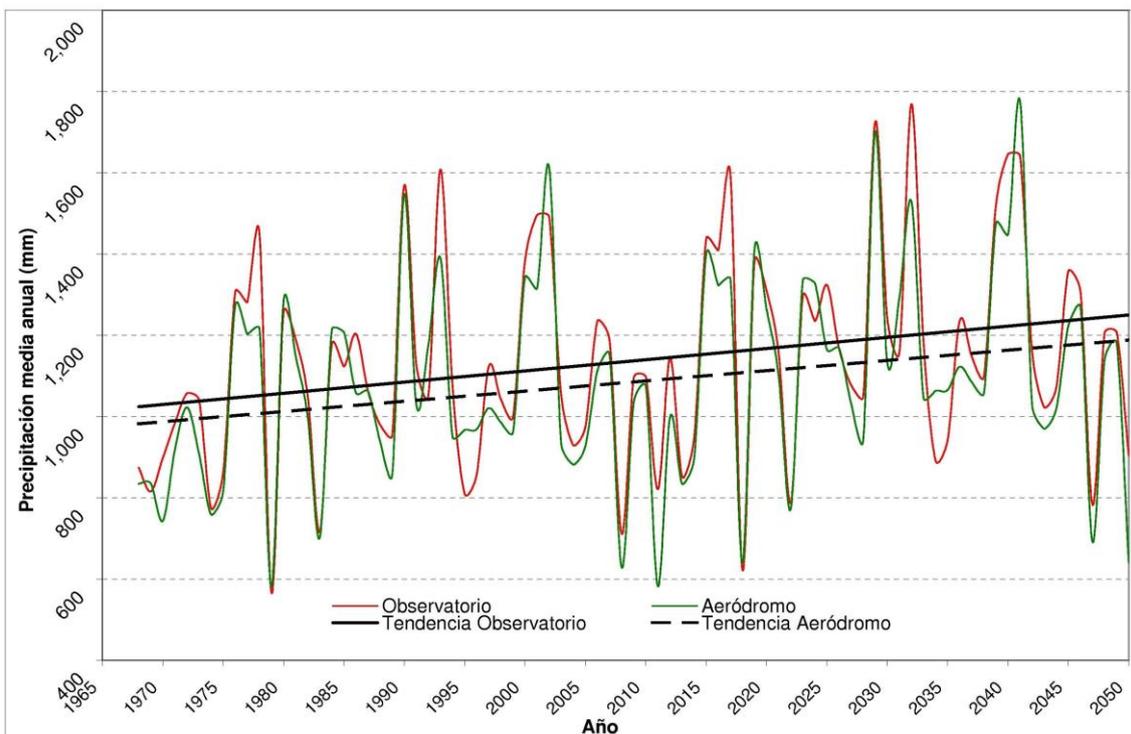


Gráfico 1b: Evolución de la lluvia anual y tendencias para el período en estudio, según estación meteorológica (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Caracterización edáfica

Las unidades taxonómicas de suelos que han sido identificadas en el área de estudio, se extrajeron del “Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos para la Región Consorcio Capital (Provincia de Buenos Aires, Argentina)”, Fase 1: Formulación del Plan. Informe Final. Capítulo 3: Diagnóstico Ambiental Regional: Dimensión Medio Natural.

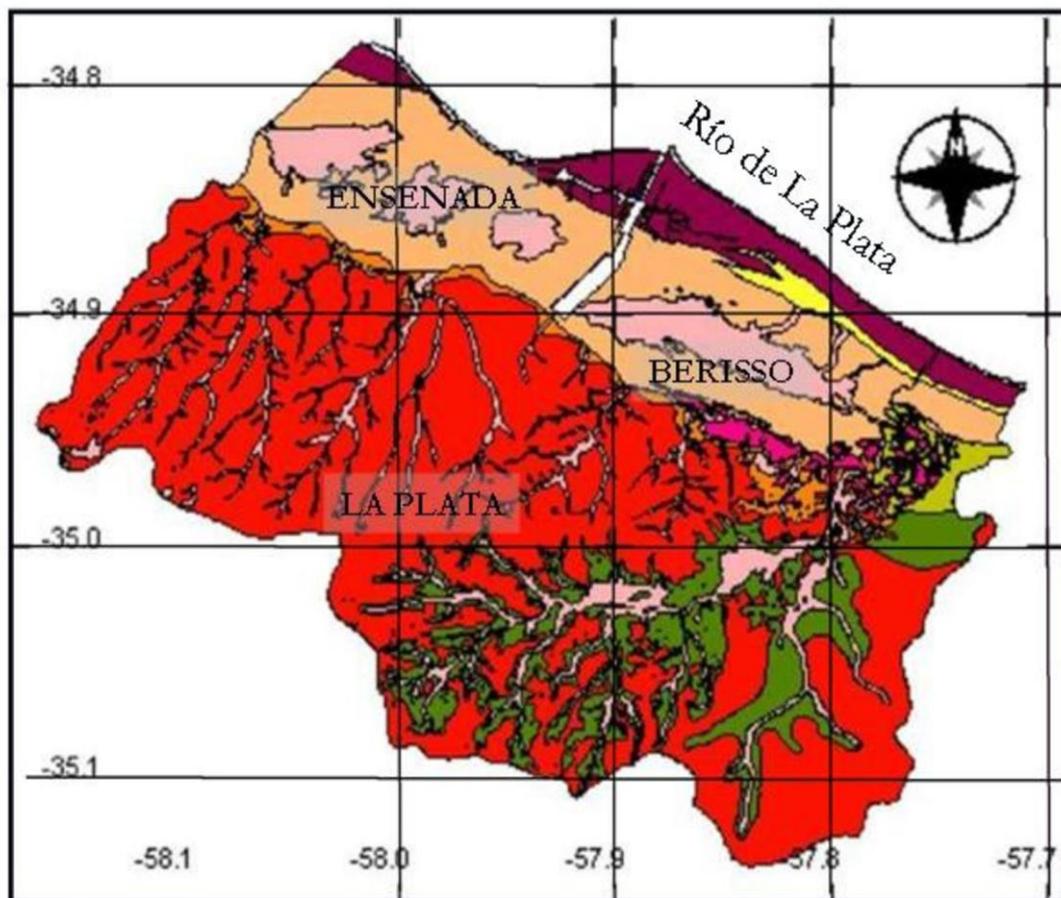
La caracterización edáfica se indica a partir de la descripción de las principales propiedades, la morfología, los datos analíticos físicos y químicos de perfiles representativos y la aptitud para diversos usos.

En la Tabla 2, se expone la descripción de las Unidades Cartográficas correspondientes a cada Complejo de suelo (GIRSU 2009) y la zonificación por grupos hidrológicos de suelos, establecida a partir de la interpretación de cada unidad cartográfica.

Tabla 2: Complejos de suelos (Fuente: GIRSU 2009).

Categoría	Complejos de suelos	Unidad Cartográfica	GH
1	Argiudoles verticos hapludertes tipicos	1	B
2	Natracuoles natracualfes argiacuoles epiacuoles tipicos verticos	8	C
3	Natracualfes tipicos	5	C
4	Hapludoles oxiacuicos natracualfes verticos	11	B
5	Natracualfes tipicos verticos	12	C
6	Natralboles natracuoles tipicos verticos	3	C

La zonificación de suelos se presenta en la Figura 2.



Leyenda

- Natracualfes típicos verticos
- Natracuoles natracualfes argiacuoles epiacuoles típicos verticos
- Argiudoles verticos hapludertes típicos
- Natralboles natracuoles típicos verticos
- Hapludoles oxiacuicos natracualfes verticos
- Haprendoles típicos
- Natracuertes típicos
- Natracualfes típicos
- Fluvacuertes típicos

Escala

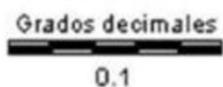


Figura 2: Mapa de complejos de suelos del área de estudio.

Caracterización socioeconómica

La población total del área de estudio, que abarca los municipios de La Plata, Berisso y Ensenada, es actualmente de 831.332 personas (estimado al 2013), representando el 5,12% de los habitantes provinciales (INDEC, 2011; elaboración propia UNLP PITAP, 2012). La mayoría de la población se concentra en el partido de La Plata (82%),

residiendo un 98,47% de la misma en áreas urbanas (al año 2001). Unos 23.450 hogares (menos del 11%) presentaban características de necesidades básicas insatisfechas (NBI) en el año 2001.

Los partidos del área de estudio, presentaban al 2001 un 72% de sus viviendas con servicio de cloacas, 91% con agua corriente, el 99% con energía eléctrica por red, el 93% con alumbrado público, el 85% con gas natural, el 93% con servicio regular de recolección de residuos y el 91% con servicio de transporte público a menos de 300 metros.

Respecto a las condiciones sociales relacionadas con la salud y educación, el número promedio de años de escolaridad de los partidos del área de estudio era de 8,1 (2001), superando al indicador provincial (7,5 años); mientras que el porcentaje de la población (mayor a 3 años) que asistía a algún tipo de establecimiento educativo era de un 34,67%. La población económicamente activa (PEA) del área de estudio, superaba en el año 2001 las 548.518 personas, lo cual implica el 58% de la población mayor a 14 años de la zona.

En términos relativos al resto de los municipios de la Provincia, se evidencian menores niveles de desempleo en el área de estudio, junto a mayores proporciones de personas empleadas en dependencias públicas y pequeñas o medianas empresas. En cuanto a la conformación del empleo por rama de actividad, claramente la región se inclina hacia sectores productores de servicios (UNLP PITAP, 2012). Los municipios de La Plata y Berisso, son claramente productores de servicios, mientras que el municipio de Ensenada concentra prácticamente la totalidad de su producción en la actividad industrial, producto de la existencia de una de las refinerías de petróleo más importantes del país y del astillero dedicado a la construcción y reparación de buques.

Modelo de elevación del terreno

Una base indispensable a tener en cuenta en modificaciones futuras, como consecuencia de cambios climáticos o alteraciones antrópicas del paisaje, es contar con una cartografía topográfica de suficiente detalle altimétrico, lo cual es especialmente trascendente en los sectores de menor pendiente topográfica de la región.

A tal fin, y en el marco del proyecto de investigación, se generó un modelo digital de elevaciones (MDE o DEM). Este modelo toma distintas fuentes de datos para su elaboración, pero lo que es fundamental definir un mecanismo que permita compararlos, encontrar eventuales diferencias sistemáticas y aplicarlas para la elaboración de un MDE único. La herramienta utilizada para esta vinculación es el posicionamiento GPS de alta precisión (ver detalles en Anexo A).

En la región existen numerosos relevamientos de cotas que fueron realizados en distintos tiempos y por diferentes organismos. Además es habitual mezclar conceptos tales como alturas ortométricas, normales, sobre el nivel medio del mar, o directamente referidas a algún origen muchas veces poco claro, “cero del Riachuelo”, “cero de Mar del Plata”, sistema IGN, sistema de Geodesia, etc. Muchas de estas denominaciones coinciden en la práctica y otras, en cambio, hacen referencia a sistemas realmente distintos. Especialmente aquellas que se refieren a los niveles del río, normalmente diferentes de los sistemas del IGN o Geodesia. También están disponibles las cotas del modelo satelital SRTM, que pueden tener errores localizados importantes y diferencias de origen que es necesario investigar. Para aumentar la complejidad, el sistema de posicionamiento global GPS también provee un tipo de altura denominado elipsoidal, que no tiene relación con ninguna de las anteriores.

En 2009, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) estableció oficialmente para el país el marco de referencia denominado POSGAR07, que constituye la materialización de un sistema geométrico en el que se definen latitud, longitud y altura elipsoidal (<http://www.ign.gov.ar/AreaProfesional/posgar07>). Paralelamente mantiene la red de nivelación, referencia para las cotas, cuyo “cero” se encuentra referido al Mareógrafo de Mar del Plata, y materializado en un monumento denominado PARN (Punto Altimétrico de Referencia Nacional) localizado en la ciudad de Tandil. A partir de dicho origen se ha desarrollado la nivelación general del país, y las cotas reciben diferentes

denominaciones según el tratamiento matemático de los desniveles medidos (D'Onofrio et al., 1999).

En esta región, y dada la precisión alcanzada en el presente trabajo, parece razonable utilizar la denominación de cotas referidas al nivel medio del mar, coincidente con el sistema altimétrico nacional del IGN con origen en Mar del Plata.

Una de las fuentes más importantes de cotas en el área de trabajo lo constituyen las provistas por la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires. Esta Dirección proveyó toda la información disponible en forma de cartas topográficas con la ubicación aproximada de un conjunto de ménsulas, marcas metálicas empotradas en muros, y un archivo planilla con la “cota” de dichas ménsulas. No existe ningún documento que complete la información, por ejemplo que mencione el origen (cero) de dichas alturas. Tampoco se dispone de información de la altura al suelo de cada uno de los puntos, de manera que adoptar directamente la cota de las planillas para el diseño de un modelo conduciría a un modelo de elevaciones de las ménsulas pero no del suelo.

A fin de elaborar el Modelo Digital de Elevación (MDE), se ajustó, completó y validó la información existente (ver Anexo A). Se recibieron de la Dirección de Geodesia provincial 10 (diez) cartas correspondientes a la Red de Nivelación de La Plata, Berisso y Ensenada. Se trata de planos cartográficos, donde se puede determinar la ubicación de una serie de ménsulas. Se verificaron casi la totalidad de las ménsulas publicadas por Geodesia, se les tomó la altura a la vereda y se determinó una posición aproximada (latitud y longitud) para cada ménsula relevada utilizando un navegador GPS. Con las cotas reducidas a la vereda y las coordenadas latitud y longitud obtenidas mediante GPS se realizó un mapa preliminar con curvas de nivel para detectar eventuales errores groseros. Se completaron los datos para 116 ménsulas encontradas.

Con la metodología que se explica en el Anexo A, se procedió a la adquisición de datos con GPS, su transformación y validación. El GPS se convierte así en una herramienta que permite la obtención de cotas con relativa facilidad. En el marco de este proyecto se utilizó principalmente para validar información de otras fuentes, y agregar datos propios donde fue necesario.

Se utilizó de base el modelo digital de elevación producido por el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que consiste en un grillado de la superficie de la Tierra en celdas de 90 m x 90 m. Su utilización requiere siempre un análisis detallado que permita validar su precisión según la zona de trabajo, por lo que se decidió utilizar solamente los datos de las zonas despobladas.

Para el armado del modelo final se utilizaron:

- 116 ménsulas con cotas obtenidas de la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires, trasladadas al nivel de la vereda.
- Trayectos cinemáticos obtenidos con GPS con cota obtenida mediante el modelo tdaGEOBA (transformación de alturas elipsoidales en alturas en m.s.n.m. en la Provincia de Buenos Aires) sobre caminos a nivel del terreno natural.
- Puntos sobre la playa obtenidos mediante la técnica GPS “Stop and Go”
- Cotas obtenidas del SRTM filtrado en las zonas despejadas y despobladas en donde no existían datos.

Para realizar el modelo final se utilizaron 8.670 puntos, los cuales fueron procesados por el “Golden Software Surfer 7”. Con este programa se confeccionó una grilla equiespaciada mediante el método de interpolación Kriging puntual, utilizando un modelo de semivariograma lineal.

El modelo de elevación del terreno obtenido (Fig. 3), es consistente con el sistema altimétrico nacional (IGN). Las diferencias entre la cota de las ménsulas y la del GPS + modelo tdaGEOBA obtenidas de la vinculación, indican que los datos son consistentes a nivel de los 10 centímetros, por lo que se pueden utilizar los datos obtenidos mediante procesamiento GPS para realizar un modelo de alturas.

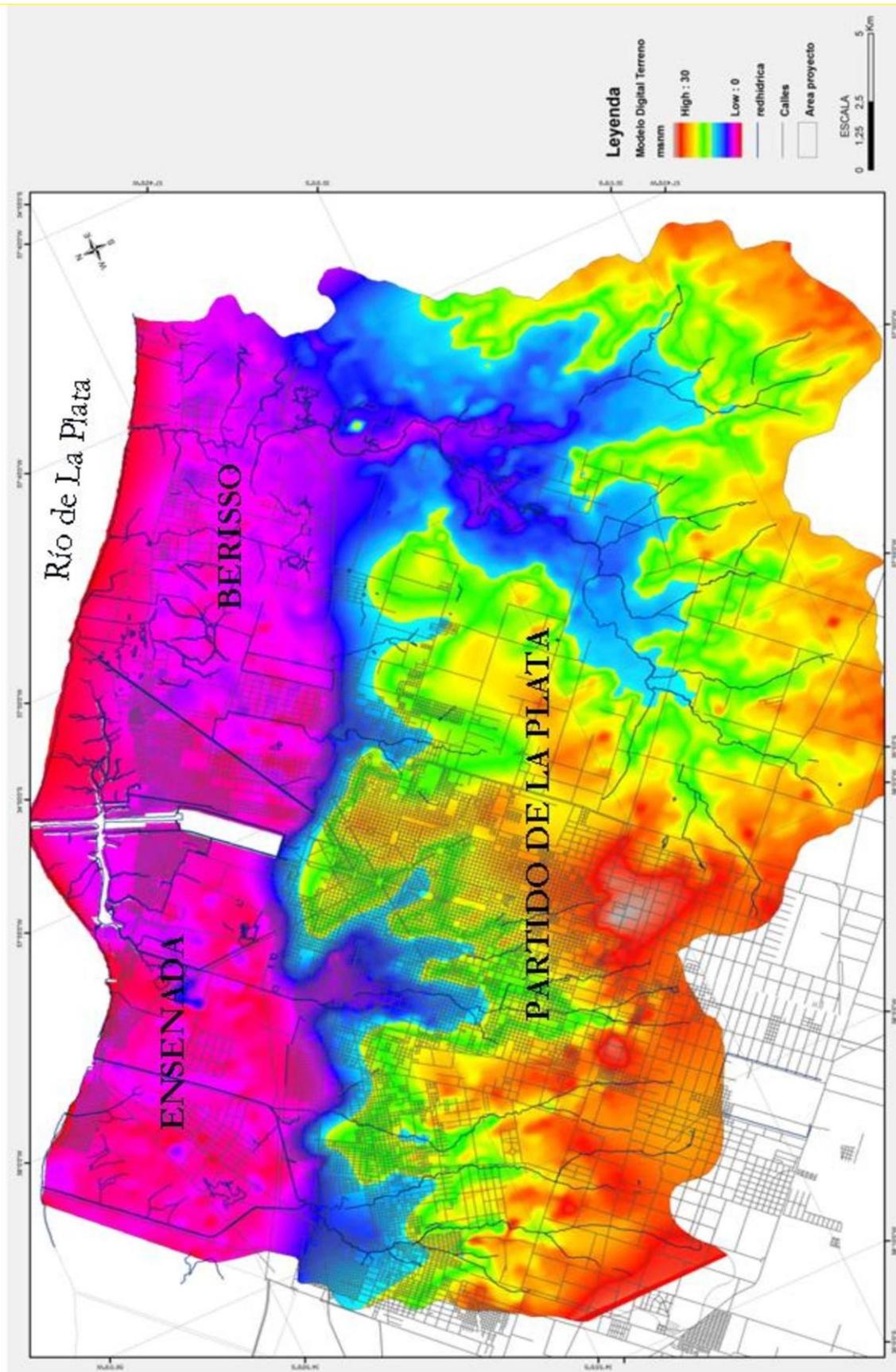


Figura 3: Mapa del modelo de elevación del terreno del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Referencia altimétrica-mareográfica del puerto La Plata

Tal como queda demostrado, las cotas de las ménsulas de la zona acuerdan con las cotas GPS corregidas con el modelo tdaGEOBA dentro de los pocos centímetros. Asimismo, todas las densificaciones realizadas mediante esta metodología pueden incorporarse al modelo de elevaciones sin producir distorsiones. Se analiza a continuación si este modelo es consistente con el cero del puerto La Plata al que están referidas las cotas máximas alcanzadas por inundaciones históricas.

Para ello se realizó un posicionamiento GPS estático, de un punto próximo al mareógrafo de Prefectura en el canal de acceso al Puerto La Plata, y se vinculó altimétricamente a la marca fija establecida en dicho puesto de Prefectura y a diversas marcas de inundaciones históricas. Tal como era de esperar, el resultado fue que el cero del Puerto La Plata, según la referencia del mareógrafo situado en el puesto de Prefectura del canal de acceso al puerto, está aproximadamente 0,65 m por debajo del cero del IGN en el que se encuentra toda la información restante.

Este resultado, coincidente con un dato existente que hasta el momento no había podido ser correctamente referenciado, es muy importante para validar la cota establecida para el talud de defensa costera de Berisso (cota 4 m IGN) ya que corrigiendo este valor por la diferencia de origen, la cota del talud en el sistema Puerto La Plata es 4,65 m. Es decir que está por encima de las cotas de las máximas inundaciones históricas. Dicho de otra manera, para hacer compatible el modelo digital de elevación con las cotas del río hay que levantar el modelo 0,65 m, o disminuir la altura del río en la misma cantidad. Para ser más explícitos en este aspecto crítico, la marca de 1989 que corresponde en el sistema del Río de la Plata a 4,20 m, equivale realmente a 3,55 m ($4,20 - 0,65$) en el sistema altimétrico IGN.

Características geológicas y geomorfológicas

Un aspecto básico para encarar los problemas ambientales de esta región es disponer de un análisis geológico geomorfológico que posibilite reconocer la respuesta del medio físico frente a las modificaciones que implican las actividades del hombre. En función de las características geomorfológicas, la zona de estudio se puede dividir en tres sectores bien contrastantes: planicie continental, planicie costera y estuario rioplatense (Fig. 4).

Según la Figura 4, la planicie continental representa el ámbito de mayor altitud, situándose por encima de los 5 msnm, y está conformada por varias cuencas de drenaje. La composición litológica corresponde a los sedimentos loésicos de la Fm. Pampeano. La mayor problemática de este ambiente lo constituyen las inundaciones periódicas de las planicies de inundación que se encuentran urbanizadas y la gran cantidad de canteras en áreas urbanas y periurbanas producto de la explotación del loess.

La planicie costera representa un ámbito bajo, aledaño al río de la Plata, compuesto por diversos subambientes (llanura de mareas relictual, cordones litorales, ambientes deltaicos, llanura estuárica y playa). Los mayores problemas naturales a los que se encuentra sometida la población (partidos de Berisso y Ensenada) corresponden a las inundaciones desde el Río de La Plata (sudestadas) y a los anegamientos e inundaciones generados por las precipitaciones y desbordes de cursos y canales, provenientes del sector continental.

En el estuario rioplatense se han observado sectores puntuales sometidos a procesos de erosión y acumulación. De acuerdo al análisis en el tiempo, se estima que los de acumulación son más importantes y se encuentran asociados generalmente con la presencia de obras artificiales en la costa. La construcción del puerto ha provocado acumulaciones importantes en la antigua boca del río Santiago, como así también, sobre la escollera de acceso al puerto. En el partido de Ensenada, se observan sectores puntuales en donde se ponen de manifiesto la importancia de los procesos de acreción.

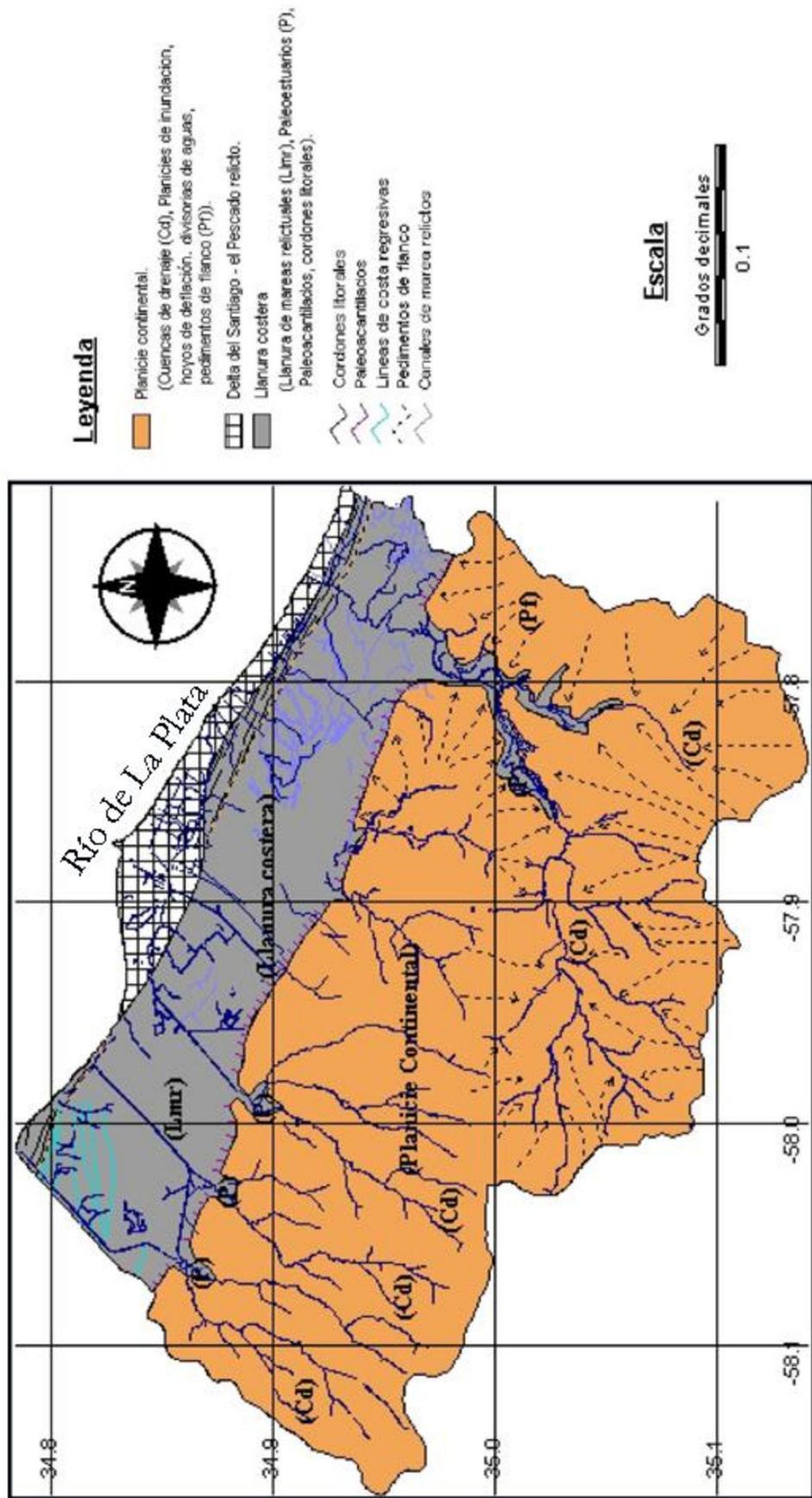
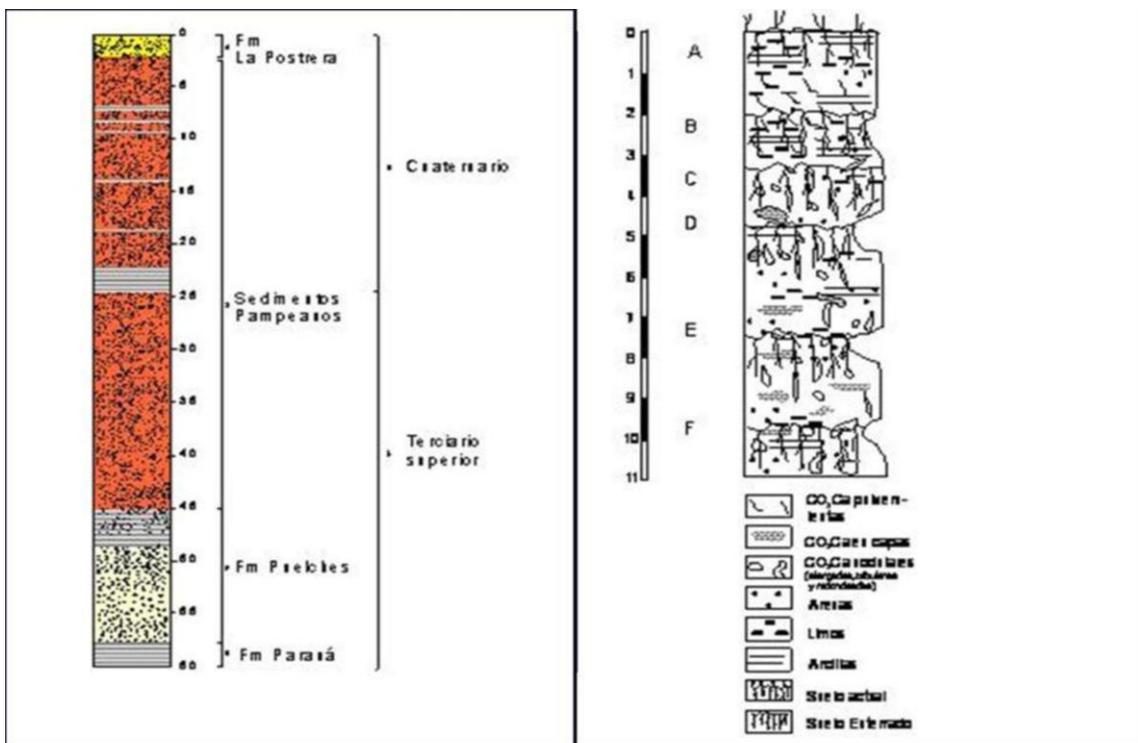


Figura 4: Mapa geomorfológico del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

El Río de la Plata en la zona del frente estuárico, es muy poco profundo, aumentando suavemente desde la costa hacia el centro. Profundidades de 3 y 4 m solo se encuentran a 4 y 7 km de la costa y las de 5 m aparecen a una distancia de 8 km. La máxima profundidad -de poco más de 10 m- se encuentra sobre el eje del canal natural del río, sobre el límite internacional. Aledaño a la costa se presentan profundidades entre 3 y 5 m que podría representar antiguos paleocauces.

Como perfil tipo para esta región se exponen dos perfiles en la Figura 5, más allá de que en otros sectores las unidades, espesores y relaciones tengan algunas variaciones (Imbelloni y Cumba, 2003)



Perfil profundo y local del sector continental

Perfil geológico en Punta Lara en la planicie costera del área de estudio.

Figura 5: Perfiles geológicos del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Cambio del uso del suelo

El avance urbano hacia la periferia del partido de La Plata, estaría generando no sólo pérdida de tierras productivas sino también, y desde un punto de vista socioterritorial, nuevas formas de fragmentación, con espacios cada vez más especializados y estratificados sobre la estructura socioeconómica desigual. (Pintos; 1993).

El cambio de uso del suelo genera una transformación en la dinámica del agua superficial y subterránea, debido al aumento del cubrimiento del suelo, a la eliminación de una cobertura vegetal absorbente y al aumento de la extracción de agua de los acuíferos para riego, entre otros.

Según García (2011) la superficie bajo invernáculo en La Plata está en expansión desde la década de 1980. Los resultados del Censo Hortícola de Buenos Aires 1998 (CHBA, 1998), expresaron un aumento promedio de 33 has de invernáculos por año, reduciéndose a casi 15has/año en el período de recesión económica del país (entre 1998 y el 2001). A partir de este período, la tasa de crecimiento de la superficie bajo cubierta se incrementó a un promedio de 60 has/año (CHFBA, 2005).

Este cambio de uso del suelo en forma conjunta con el movimiento inmobiliario, genera modificaciones en el agua disponible y en los excesos hídricos luego de una tormenta. Estas variaciones y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico, pueden ser modelizados según una tendencia de cambio espacio – temporal expresando el carácter dinámico de la información incluida en el sistema (Gaspari et al., 2009). El efecto de la vegetación en la capacidad de infiltración esta condicionado por la intercepción. No obstante, la vegetación aumenta la infiltración en comparación con la de un suelo desnudo dado que retarda el flujo de superficie (escurrimiento) dando al agua tiempo adicional para penetrar al suelo (Linsley et al., 1993).

El uso de modelos de proyección cartográfica del cambio en el uso del suelo son herramientas relativamente fiables, dada por la potencia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos integrados a un Sistemas de Información Geográfico (SIG) (Sandoval y Oyarzun, 2003).

El análisis temporal de la vegetación y/o uso del suelo se realizó para los años 1986 y 2011. Fue definida por medio de un geoprocamiento digital, a partir de la clasificación de mapas generados por la interpretación de imágenes satelitales Landsat

TM. Esta cartografía fue reclasificada con SIG, para la definición de áreas de mayor consistencia estructural, logrando ocho clases de uso de suelo: Agua, Formaciones forestales, Pajonales, Pastizales, Invernáculos, Urbano, Usos especiales, Áreas extractivas.

Además para generar un escenario del uso de suelo potencial, se proyectó al año 2050 a través de diversos módulos de procesamiento geoespacial de Idrisi Taiga ®. La evaluación de la tendencia de cambio espacio temporal del uso del suelo, entre los escenarios estudiados (1986 - 2011 – 2050), se realizó por medio de la aplicación del Módulo Land Change Modeler (LCM). El escenario del uso de suelo proyectado al año 2050 fue realizado a través de diversos módulos de procesamiento geoespacial de Idrisi Taiga ® (Fig.6).

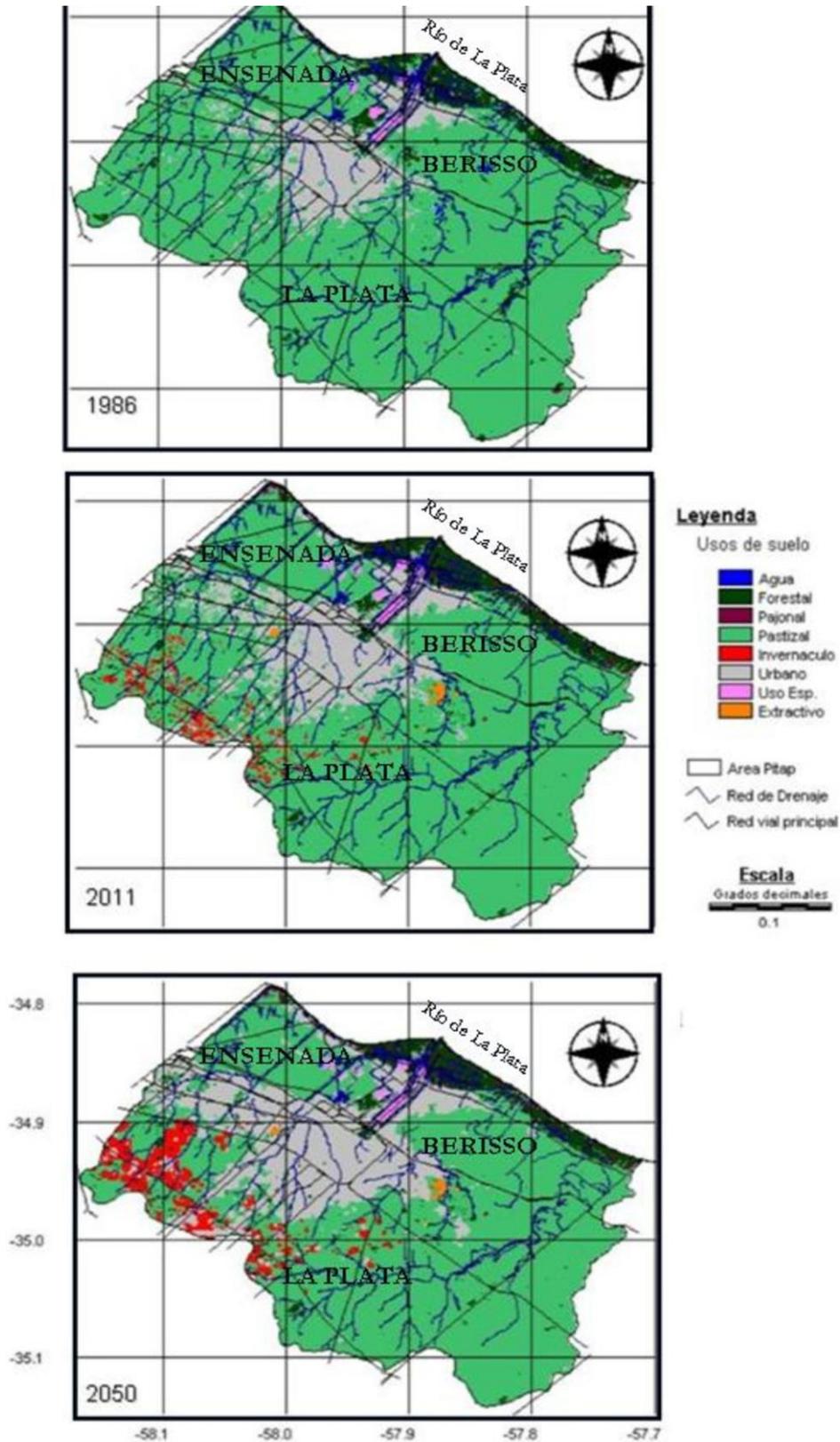


Figura. 6: Mapa de usos del suelo para los escenarios 1986 - 2011 – 2050, (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Los cambios de superficie de ocupación del uso del suelo se representan durante el transcurso del período 1986 – 2011 y se proyectan al período 2011 - 2050. Ambas situaciones presentan pérdidas y/o ganancias en superficie (Figura 6 y Gráfico 2).

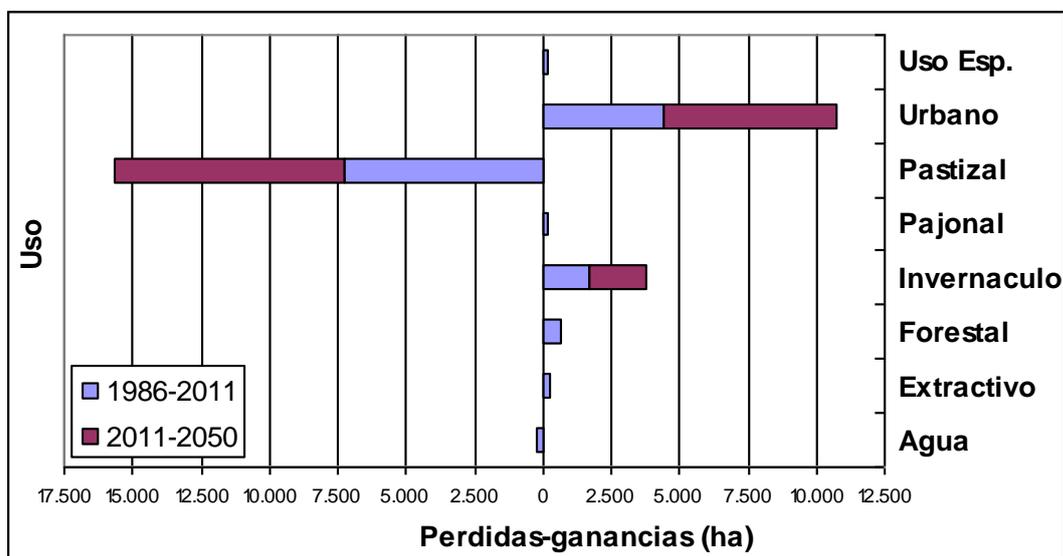


Gráfico 2: Cambios de la superficie de ocupación en la cobertura del suelo.

Las pérdidas ocurren principalmente sobre el pastizal (8%) proyectando al año 2050 un aumento en la superficie perdida de 9,2%, respecto de la actualidad. Los usos especiales, extractivos y pajonal, han aumentado un 0,2% de área cada uno durante el primer período. No se proyectaron cambios a futuro. La urbanización ha presentado un crecimiento del 5% en los últimos 22 años y se proyectó un crecimiento del 7%. Los invernáculos en la década de 1980 iniciaban su actividad. En la actualidad, se está desarrollando con mucho impulso, lo cual se proyectó un crecimiento de 3% (2080 has) para 2050, según referencias bibliográficas y análisis tendencial de Markov. La actividad forestal ha presentado un aumento durante el primer período de estudio, la cual se estabilizó en el tiempo. En relación a la distribución de los espejos de agua, se ha producido una merma hasta la actualidad.

Condiciones hidrológicas

Agua superficial

La red de drenaje superficial está bien desarrollada en la planicie continental conformando cuencas integradas que en algunos casos se encuentran modificadas por la urbanización y otras actividades antrópicas. Las principales cuencas de drenaje corresponden a los arroyos El Pescado, Maldonado, del Gato, Rodríguez, Martín – Carnaval.

Los arroyos, en general, presentan un diseño recto y en condiciones naturales son de tipo perenne como consecuencia de la descarga del agua freática en el curso. Los escasos y aislados datos de aforos existentes indican un índice de escurrimiento del orden del 6% respecto de la precipitación anual, con caudales medios entre 30 y 70 L/s.

La mayoría de los arroyos que drenan la planicie continental conforman bañados en la planicie costera antes de alcanzar la desembocadura en el Río de La Plata. En esta planicie costera prácticamente desaparecen las divisorias de aguas, por lo plano del relieve y los cauces naturales se tornan divagantes, perdiéndose en el Bañado de Ensenada y de Maldonado. La descarga, en la mayoría de los casos, sólo puede lograrse mediante canalizaciones.

Existen algunos cursos temporarios que confluyen hacia los bañados y que son alimentados por aguas pluviales y, en el caso de grandes sudestadas además por agua del Río de La Plata. Estas dificultades de drenaje se manifiestan también en la posición próxima a la superficie o aflorante de los niveles freáticos.

En momentos de crecientes gran parte de las planicies aluviales de los arroyos en la planicie continental y la planicie costera pueden verse afectada por los anegamientos.

En la planicie costera, la zona correspondiente a los Bañados de Ensenada y Maldonado representa un área de descarga natural del agua subterránea. La expansión y retracción natural de las superficies anegadas, además de las crecientes superficiales y sudestadas se relacionan con el ascenso o depresión de los niveles freáticos. Los canales principales (Canal del Ao. El Gato, Canal del Ao. Rodríguez y Canal Villa Elisa) y otras zanjas menores, interceptan a la superficie freática, debido a la escasa profundidad a que se encuentra.

secciones del subsuelo menos profundo: Arenas Puelches y Pampeano - Postpampeano resultan las más conocidas y presentan una mayor significación en relación a los aspectos ambientales.

Geológicamente se trata de una cuenca sedimentaria donde los sedimentos superan los 400 m de espesor. El agua subterránea utilizada para el abastecimiento procede esencialmente de la explotación de un nivel semiconfinado en un acuífero multicapa alojado en el tramo superior de la secuencia sedimentaria. La base de este acuífero está compuesta por arcillas verdes (Fm. Paraná). Sobre ellas se depositan arenas finas a medianas de composición cuarzosa y origen fluvial (Arenas Puelches). Por encima de las arenas se ubican limos con intercalaciones carbonáticas (Sedimentos Pampeanos) y restringidos a las planicies aluviales y costera, depósitos limoarcillosos (Sedimentos Postpampeanos) Estos sedimentos en la base presentan un carácter más arcilloso y actúan como acuitardo entre el nivel semiconfinado y la capa freática.

La capa freática en la planicie continental se aloja en sedimentos limosos (Pampeano) los cuales tienen un espesor variable entre 45 m en la planicie continental y 0 m en la planicie costera. El nivel semiconfinado (Puelche) alojado en sedimentos netamente arenosos tiene un espesor promedio aproximado de 20 m.

La recarga del agua subterránea es de origen meteórico, siendo autóctona directa en la capa freática e indirecta a través filtración vertical descendente en el nivel acuífero semiconfinado (Auge, 2005). La descarga subterránea local se produce en los arroyos y la regional en el Río de la Plata.

La explotación de agua subterránea impone un régimen que depende principalmente de las variaciones en los volúmenes extraídos. La expansión del cono de depresión produjo la inversión de los gradientes hídricos naturales de los niveles freáticos. Como consecuencia de ello se ha modificado la relación natural entre el agua superficial y el agua subterránea (Deluchi et al, 2011).

El bombeo de agua subterránea del Puelche produjo la formación de un cono de depresión tanto en este nivel acuífero como en la capa freática, cuyo ápice ha ido variando con el tiempo en su ubicación geográfica hacia el SO desde el casco urbano hacia sectores periurbanos (Figura 8).

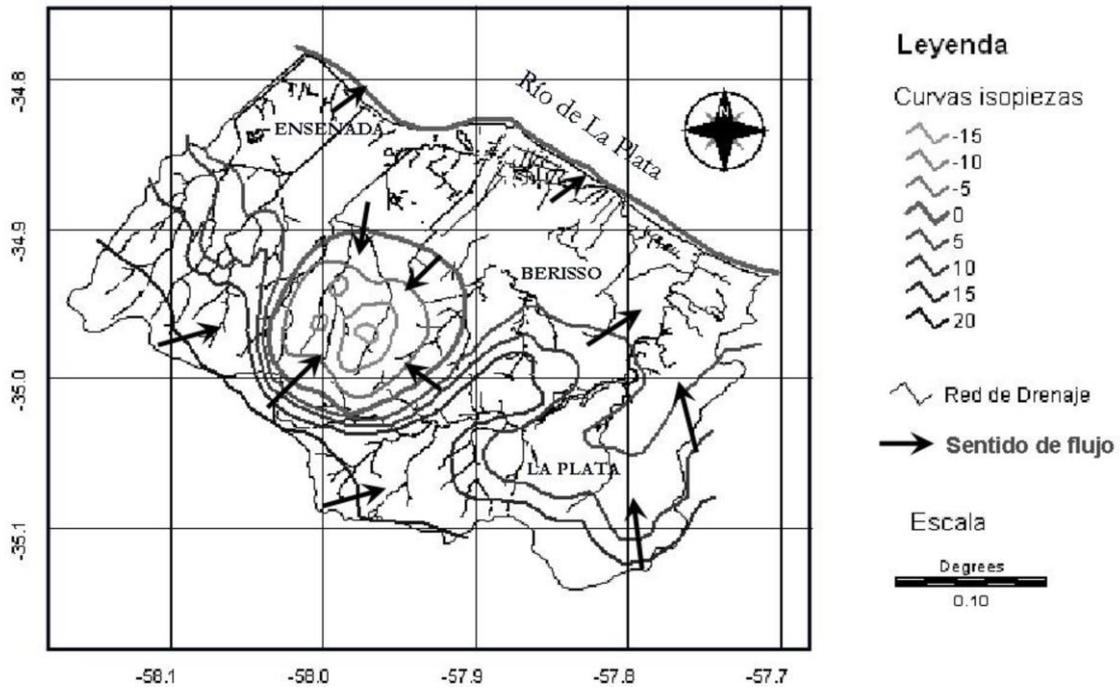


Figura 8: Mapa flujo subterráneo del área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP, 2012).

Las Arenas Puelches representan el acuífero (semiconfinado) más importante por su calidad y disponibilidad de agua en la planicie continental. En la planicie costera aumenta su salinidad lo cual no posibilita su uso como agua potable y para otras actividades que requieren agua dulce.

En la planicie costera, la capa freática se aloja principalmente en los Sedimentos Postpampeanos. El sentido de escurrimiento subterráneo regional es de sudoeste a noreste, tendiendo a descargar en el Río de La Plata. Debe destacarse como generalidad que los flujos subterráneos, por los mínimos gradientes hidráulicos, (inferiores a 1 m/km) y las condiciones hidrolíticas de baja permeabilidad, son sumamente lentos, aunque permanentes en el espacio-tiempo. A pesar de la transformación existente debido a las actividades del hombre, el patrón dominante en el comportamiento de las aguas subterráneas mantiene su condición de un ambiente llano, predominando en términos generales la evapotranspiración y la infiltración sobre los escurrimientos.

En la planicie costera las modificaciones efectuadas por el hombre, dada la sensibilidad del sistema hidrológico, generan variaciones locales destacables. Están vinculadas a la

construcción de zanjas y canales y a la elevación de terrenos por rellenos en sectores industriales y urbanos.

La relación puntual entre los niveles piezométricos reconocidos permite analizar posibles comportamientos de la dinámica subterránea regional. Debe tenerse en cuenta que las diferencias de potencial hidráulico entre los niveles captados son pequeñas (menores a 50 cm), lo cual de por sí indica una muy lenta transferencia de agua entre los niveles acuíferos en la planicie costera.

Hidroquímica subterránea

La característica química del agua en los niveles acuíferos freático y Puelche, posibilita establecer significativos cambios químicos verticales relacionados con el escurrimiento subterráneo.

En las proximidades del límite de los Partidos de La Plata y Ensenada se destaca el agua freática por una alta salinidad (residuo seco 3.595 mg/l), fuertemente sulfatada sódica. El acuífero Pampeano y Puelche presentan un menor contenido salino, del orden de 1.000 mg/l. En el sector industrial (próximo a los bañados) el freático muestra una baja salinidad (620 mg/l), en el Pampeano es algo mayor (3.420 mg/l), y en el Puelche el contenido salino es de 28.470 mg/l. En Puerto (Prefectura) el agua freática es de baja salinidad, en el Pampeano se incrementa el contenido salino a 3.650 mg/l, mientras que en el Puelche registra un valor de salinidad (25.480 mg/l) (Tabla 3).

Tabla 3: Valores de salinidad en los niveles acuíferos (en mg/l).

	El Dique	Petroquímica	Puerto
Freático	3.595	620	705
Pampeano	1.081	3420	3.650
Puelche	1.045	28.470	25.480

Usos del agua

En la planicie continental el agua subterránea es de buena calidad y el abastecimiento a partir de la extracción del acuífero Puelche cubre prácticamente la mitad del requerimiento de agua potable en el Partido de La Plata. Además es fuente de provisión industrial y de riego en el área rural.

Actualmente el abastecimiento de agua representa un volumen aproximado de 200 hm³/año, lo cual incluye el uso conjunto de agua subterránea y agua superficial del Río de la Plata. Hasta 1955 la provisión fue exclusivamente a partir de aguas subterráneas, momento en que se refuerza el servicio con agua superficial

Los primeros pozos de abastecimiento se ubicaron en el casco urbano. Con el transcurrir del tiempo parte de estos pozos se han abandonado por problemas de salinización producto del avance de un frente salino desde la planicie costera. Para suplir estos pozos se fueron construyendo nuevos pozos en la zona periurbana ubicada el sudoeste.

La explotación actual se realiza principalmente en zonas periurbanas y rurales del S de la ciudad, alcanzando el aporte del agua subterránea para el servicio de abastecimiento un valor superior a 80 hm³/año.

En la planicie costera el carácter salino del agua subterránea resulta un condicionante en cuanto a la aptitud para su uso. Los requerimientos de abastecimiento a las poblaciones de Ensenada y Berisso es cubierta por la empresa ABSA a partir de las aguas del Río de La Plata, que deben ser sometidos a procesos de tratamiento. La demanda de agua industrial es cubierta de la misma forma. En algunos procesos podría utilizarse el agua subterránea, a pesar de su concentración salina, pero ello prácticamente no ocurre en la actualidad.

La Planta Potabilizadora de Punta Lara, alimenta a través de su usina de Ensenada a la población de esta localidad y de la ciudad de La Plata. El transporte de agua desde esta planta hasta la usina del Bosque se realiza a través de un acueducto, cuya traza se sitúa en el Partido de Ensenada.

Dinámica costera

Los cambios en el nivel de las aguas del estuario del Río de la Plata son producidos por la marea co-oscilante forzada por la marea mundial a lo largo del borde de plataforma. La marea resultante es mixta, preponderantemente semidiurna. Esto significa que la marea presenta dos pleamares y dos bajamares diarias, pero las alturas de las pleamares y las bajamares exhiben una gran desigualdad diurna. La amplitud promedio es de 0.54 m en el puerto La Plata. Sin embargo, debido a su poca profundidad y a su creciente ancho y extensión a lo largo de su recorrido hacia el Atlántico, el Río de la Plata está fuertemente influenciado por ondas de tormenta que pueden durar desde varias horas hasta dos o tres días.

Una onda de tormenta es una elevación del nivel de las aguas por encima de la marea astronómica debido a la acción de fuertes vientos que soplan hacia la costa. La región costera del Río de la Plata es baja y por tanto altamente vulnerable a la elevación del nivel de las aguas por efecto de las ondas de tormenta.

Las ondas de tormenta pueden ser positivas, que elevan el nivel de las aguas por encima de la marea predicha y son las más frecuentes, o negativas, que hacen descender el nivel de las aguas por debajo de los valores predichos; estas últimas son las menos frecuentes. Las ondas de tormenta positivas se pueden sumar a las pleamares y olas, provocando así severas inundaciones; las ondas de tormenta negativas, en cambio, reducen la profundidad del agua y constituyen un peligro potencial para la navegación.

La costa de Berisso y Ensenada en particular, sufren los efectos de ondas de tormenta positivas y negativas que pueden originarse tanto en el frente marítimo de la Provincia de Buenos Aires como en el extremo sur de la plataforma continental argentina.

Ondas de tormentas positivas

Las ondas positivas están ocasionadas por fuertes vientos del SE-SSE (paralelos al eje del estuario), que pueden eventualmente alcanzar velocidades de entre 75 y 90 km/h en la boca del Río de la Plata, y empujan las aguas del estuario río arriba dificultando su drenaje hacia el Atlántico. Conviene señalar, sin embargo, que los vientos de dirección

perpendicular al eje del río también pueden ocasionar ondas de tormenta positivas. Durante el desarrollo de estos episodios, localmente conocidos como sudestadas, las aguas pueden elevarse más de 3 m sobre los valores predichos por las Tablas de Marea, penetrar varios kilómetros hacia el interior del terreno y provocar severos daños materiales y hasta eventuales pérdidas de vidas humanas.

Partiendo del año 1905, en que comenzaron los registros de marea en Buenos Aires, no hay dudas de que el ejemplo más catastrófico de este tipo de ondas de tormenta sucedió el 15 de abril de 1940. La máxima altura de la marea predicha para el 15 de abril de 1940 en Buenos Aires era de 1.20 m por encima del plano de reducción (cero del Riachuelo), pero el nivel observado alcanzó 4.44 m por encima de dicho plano, lo cual indica que la onda de tormenta (o residuo meteorológico) fue de 3.24 m. Este nivel de 4.44 m por encima del plano de reducción es el máximo nivel del agua observado en Buenos Aires desde que comenzaron los registros de marea en 1905.

La Figura 9 muestra la carta sinóptica del tiempo correspondiente a las 20:00 de ese día, momento culminante de la tormenta desde el punto de vista meteorológico. Para ayudar a la interpretación de esta carta sinóptica, se debe tener en cuenta que en el hemisferio sur los vientos tienen una circulación contraria a las agujas del reloj, alrededor de un anticiclón (zona atmosférica de alta presión; H, en la Figura 9), y en el mismo sentido que las agujas del reloj alrededor de una región ciclónica o borrasca (zona atmosférica de baja presión; L, Figura 9). En esa oportunidad, la velocidad del viento en la boca del Río de la Plata sobrepasó holgadamente los 100 km/h.

La mayor onda de tormenta positiva, sin embargo, ocurrió el 12 de noviembre de 1989, con 3,48 m. Este fenómeno se produjo como consecuencia del más severo episodio de ciclogénesis (desarrollo de un sistema de baja presión) costero de las últimas décadas (Seluchi and Saulo, 1998). Fuertes vientos del sudeste de entre 75 y 90 km/h se abatieron sobre Buenos Aires y elevaron el nivel de las aguas a 4,06 m por encima del cero del Riachuelo (segundo mayor nivel desde 1905). Fue la marea astronómica la responsable de que la onda de tormenta de 1940 de 3,24 m (menor que 3,48) produjese el mayor nivel de agua observado (4,44 m) desde 1905. El tercer mayor nivel (desde 1905), ocurrió el 7 de febrero de 1993, con 3,93 m sobre el cero del Riachuelo. Esta tormenta tuvo asimismo muy severos efectos en la costa arenosa oriental bonaerense.

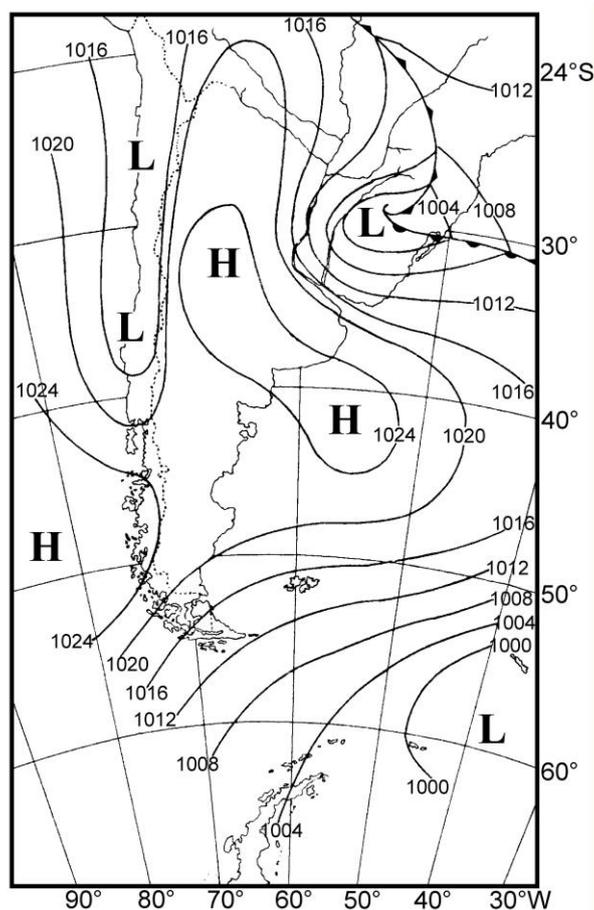


Figura 9. Carta sinóptica del tiempo en la noche del 15 de abril de 1940. (Fuente Modificada de Balay, 1961).

Referencias: H = anticiclón; L = ciclón (depresión). Los números sobre las isobaras indican la presión en hPa.

Es interesante destacar que D'Onofrio et al. (1999) calcularon un período de retorno de aproximadamente 265 años para que se produjera el máximo nivel de las aguas alcanzado en Buenos Aires (4.44 m por encima del plano de reducción) en 1940. Sin embargo, conviene tener en cuenta que aunque los cálculos predicen que este evento ocurrirá en promedio una vez cada 265 años, esto no significa que una tal onda de tormenta sobrevendrá automáticamente cada 265 años; puede haber períodos mucho mayores que ese sin ninguna. Por el contrario, dos de esos episodios podrían aparecer, eventualmente en un lapso de apenas 25 años.

Conviene notar, sin embargo, que los períodos de retorno son considerablemente menores para situaciones ya de por sí críticas. Por ejemplo, la Tabla 4, tomada de D'Onofrio et al. (2002), muestra las alturas de alerta y evacuación para distintas localidades de la costa del Río de la Plata. Todas las alturas están referidas al cero del

Riachuelo. Se observa que las alturas de evacuación están entre 2,80 y 3,80 m, aunque en el momento de confeccionarse la Tabla 4 Berisso no contaba con el actual terraplén costero. Para estas alturas de evacuación, los correspondientes períodos de retorno oscilan tan sólo entre 2,5 y 9 años (D’Onofrio et al., 1999), lo cual confirma la necesidad de adoptar de antemano medidas dirigidas a mitigar los severos efectos de las inundaciones en las densamente pobladas localidades de la costa del Río de la Plata.

Tabla 4: Alturas de alerta y evacuación, referidas al cero del Riachuelo, en distintas localidades costeras del Río de La Plata.

Localidad	Altura de alerta (m)	Altura de evacuación (m)
Berisso	2,65	3,15
Ensenada	2,50	2,80
Berazategui	2,70	2,80
Quilmes	2,70	2,80

Finalmente, D’Onofrio y Fiore (2002) mostraron que el nivel medio del agua en la costa del Río de la Plata no se ve muy afectado por la descarga de los ríos Paraná y Uruguay. Esto es porque el Río de la Plata cambia su geometría aumentando notablemente su ancho, por lo cual sus aguas se expanden sobre un área mayor sin afectar significativamente el nivel medio del río. Las mayores anomalías positivas en el nivel medio del agua no corresponden en general con las mayores descargas. Con respecto al nivel medio del Río de la Plata es más relevante la acción de las ondas de tormenta que la propia descarga de los ríos Paraná y Uruguay, es decir que la onda de tormenta es la que controla la anomalía. Sólo durante los grandes episodios de El Niño de 1983 y 1998 resultó apreciable la contribución de la descarga de los ríos Paraná y Uruguay al nivel medio del agua. A partir de las series temporales analizadas, se concluyó que sólo para descargas máximas anuales mayores que $64.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y descargas medias anuales mayores que $41.000 \text{ m}^3/\text{s}$ podrían ser las anomalías en el nivel medio del orden de 0,15 m. Estas dos condiciones solamente se dieron durante los episodios de El Niño de 1983 y 1998.

Ondas de tormentas negativas

Las ondas de tormenta negativas ocurren en el Río de la Plata como resultado por lo general de malas condiciones del tiempo acompañadas por fuertes vientos principalmente del NNO y N (Balay, 1961; Campetella et al., 2007), aunque también los vientos de dirección perpendicular al eje del río pueden ocasionar ondas de tormenta negativas. Este tipo de ondas de tormenta plantea un serio riesgo para la seguridad de la navegación en el Río de la Plata, en especial para los grandes buques que maniobran con muy poco espacio libre por debajo de la quilla. No hay más que recordar que debido a la poca profundidad del estuario, es necesario mantener permanentemente dragado el canal de acceso a los puertos de La Plata, Buenos Aires y a aquéllos situados sobre el río Paraná. Este canal tiene alrededor de 200 km de longitud, 200 m de ancho y 10 m de profundidad. Desde luego, el riesgo se incrementa con la marea bajante.

Además de constituir un serio riesgo para la navegación, las ondas de tormenta negativas afectan seriamente el abastecimiento de agua potable al Gran Buenos Aires y, desde luego a Berisso, Ensenada y La Plata. Cuando el nivel observado del agua es de -1,20 m (por debajo del cero del Riachuelo) las tomas de agua reciben un mensaje de alerta, pero son parcial o totalmente cerradas a -1,50 y -1,80 m, respectivamente (Campetella et al. 2007). El 23 de julio de 2009, por ejemplo, el nivel observado alcanzó un valor de -1,54 m y las tomas de agua fueron parcialmente cerradas.

El 10 de noviembre de 2002, siete distritos de Buenos Aires se quedaron sin agua potable, y varios barcos tuvieron que permanecer anclados cerca del puerto de Buenos Aires debido a una pronunciada onda de tormenta negativa. La altura predicha de la marea era de 0.74 m por encima del cero del Riachuelo, pero el nivel observado fue de -2.63 m por debajo de dicho cero. Ese fue el menor nivel observado en 19 años. En esa ocasión Buenos Aires se vio afectada por fuertes vientos del oeste (40-55 km/h), con ráfagas de 80 km/h.

El 29 de mayo de 1984 el mareógrafo del Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP) registró la mayor onda de tormenta negativa en Buenos Aires desde 1905. Esta onda de tormenta (o residuo meteorológico) fue de -4,61 m el 29 de mayo a las 20:00 (UTC - 3), mientras que el nivel más bajo observado fue de -3,66 por debajo del cero del Riachuelo dos horas después. El valor del nivel observado (-3,66 m) es más del doble negativo que el valor de cierre para las tomas de agua (-1,80 m).

Durante el desarrollo de las ondas de tormenta positivas que afectan gran parte o la totalidad del frente costero de la Provincia de Buenos Aires, existe una tendencia general coincidente entre los niveles registrados, por ejemplo, en el mareógrafo de Mar del Plata (frente marítimo) y los registrados por los mareógrafos ubicados en el Río de la Plata (frente estuárico). En ambos casos los niveles aumentan. Sin embargo, una misma onda de tormenta puede ocasionar efectos totalmente opuestos y simultáneos en ambos sitios. Los episodios de tormenta del 29-30 de mayo de 1984 y del 21-23 de julio de 2009 constituyen dos ejemplos de cómo la misma onda de tormenta puede afectar simultáneamente el frente marítimo y la zona estuárica de forma totalmente opuesta.

Para una situación sinóptica que genere simultáneamente niveles altos en Mar del Plata y bajos en el Río de la Plata, la magnitud de la bajante en Buenos Aires depende de la magnitud de la onda de tormenta positiva en Mar del Plata debido a la propagación hacia el norte de la onda de marea.

Una explicación posible para los cambios en frecuencia, altura y duración de las ondas de tormenta positivas en Buenos Aires, característica del estuario del Río de la Plata, y Mar del Plata, representativa del frente marítimo de la Provincia de Buenos Aires, pareciera estar en el aumento relativo del nivel del mar. Sin embargo, existe cierta evidencia que sugiere sendos desplazamientos hacia el sur del anticiclón del Atlántico sur durante las últimas décadas del siglo veinte (Camilloni, 2005) y de la circulación atmosférica regional sobre la porción sudoriental de América del Sur (Barros et al., 2000). Es por lo tanto posible que los cambios en el régimen de vientos sobre el Atlántico sudoccidental puedan ser responsables de la tendencia creciente de las características de las ondas de tormenta positivas en un grado similar, o aun mayor, que el aumento relativo del nivel del mar.

Ascenso relativo del nivel del agua

En el gráfico 3 se muestra la serie temporal de los niveles del agua registrados en Buenos Aires. La regresión lineal de los datos arroja una tendencia de $+1,62 \pm 0,0526$ mm/año. El signo positivo delante de ambas cifras indica un aumento del nivel del agua.

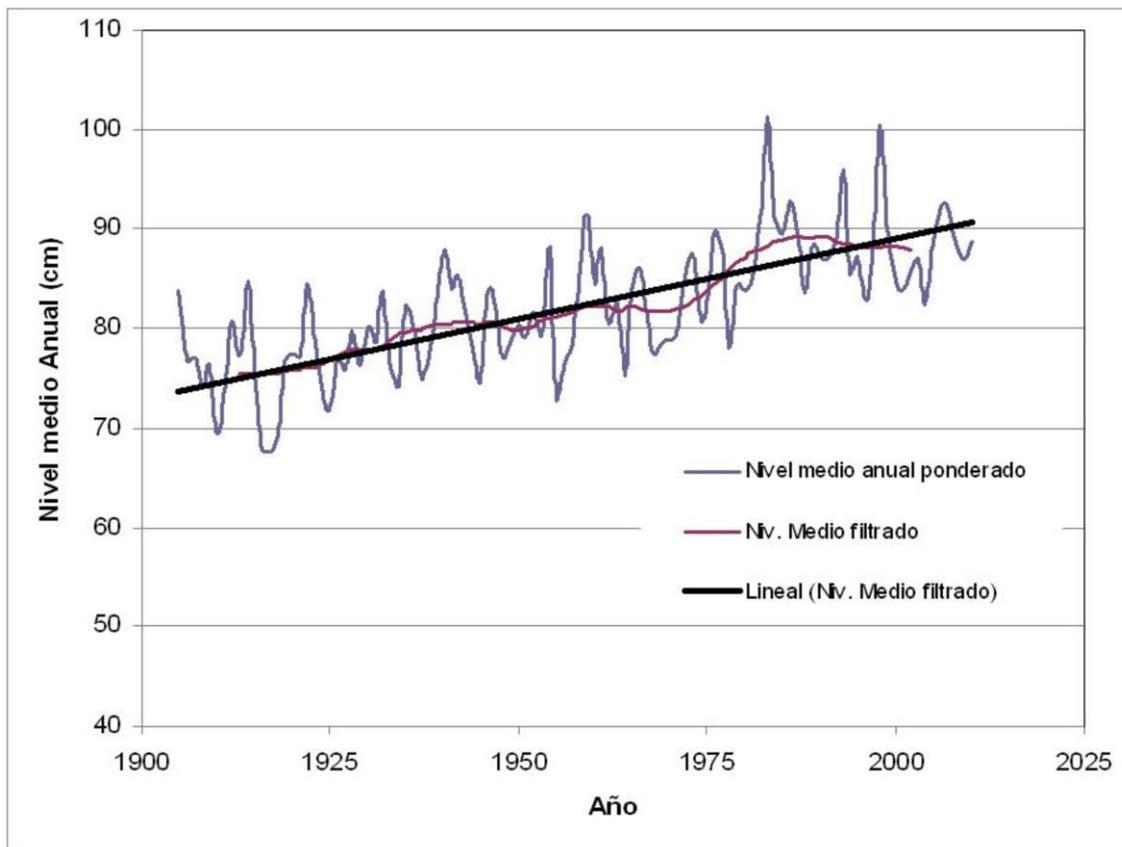


Gráfico 3: Serie temporal de niveles de agua (cm) (Fuente: Mareógrafo Buenos Aires).

Por lo general en la literatura se habla de un cambio (ascenso o descenso) del nivel del mar porque la mayoría de los registros se han tomado, y se toman, en localidades costeras marítimas. Este, naturalmente, no es el caso de Buenos Aires, Berisso y Ensenada, que son ciudades ubicadas a orillas del Río de la Plata. Por lo tanto, cuando se refiera a cualquiera de estas localidades, se mencionará la variación del nivel del agua.

Por ello, los valores precedentes son más específicamente representativos del aumento relativo del nivel del agua. Se denomina aumento relativo del nivel del agua al aumento de éste en relación con la costa adyacente. Es necesario tener en cuenta que, de existir, los movimientos verticales del terreno pueden contribuir al aumento relativo del nivel del agua con valores comparables con los debidos a las propias fluctuaciones oceánicas. Los movimientos verticales del terreno pueden deberse a varias causas: rebote post glacial, tectónica de placas, consolidación natural de depósitos sedimentarios, así como a actividades netamente humanas, como la extracción de fluidos (agua subterránea o petróleo) del subsuelo (Carbognin et al., 2011). Para corregir la tendencia del nivel de

las aguas por la incidencia del movimiento vertical del terreno pueden usarse las mediciones de un GPS de registro continuo ubicado en la inmediata vecindad del mareógrafo (Brooks et al., 2007).

Para estimar razonablemente las señales provenientes del movimiento vertical del terreno en el área local se utilizaron estaciones de GPS de Buenos Aires y La Plata, establecidas en 2004 y 1994. El movimiento vertical del terreno registrado fue de $+2,5 \pm 1,1$ mm/año en Buenos Aires y $+1,4 \pm 0,4$ mm/año en La Plata (www.sonel.org).

Para entender cómo se reconstruye el cambio más probable del nivel relativo local del agua (eustatismo) se debe tener en cuenta las siguientes relaciones:

$$\text{Eustatismo} = \text{Dato mareográfico} + \text{Movimiento vertical del terreno} \quad (1)$$

de acuerdo con la expresión (1),

$$\text{Dato mareográfico} = \text{Eustatismo} - \text{Movimiento vertical del terreno} \quad (2)$$

Naturalmente, el movimiento vertical del terreno puede ser positivo (+) si es una elevación, o negativo (-) si es una subsidencia. Si el movimiento vertical del terreno es positivo, y el mar se eleva al mismo ritmo que el movimiento vertical del terreno, la expresión (2) dice que el dato del mareógrafo será nulo.

Nuevamente, de acuerdo con la expresión (1), cuando hay subsidencia el movimiento vertical del terreno es negativo (-), luego

$$\text{Eustatismo} = \text{Dato mareográfico} - |\text{Subsidencia}| \quad (3)$$

Como ya se ha considerado el signo negativo de la subsidencia, ésta se toma en valor absoluto (por eso las barras). Entonces, si el mar se eleva y hay subsidencia, para determinar el eustatismo se resta la subsidencia del dato mareográfico.

Finalmente, y de acuerdo también con la expresión (1), si el mar se eleva y al mismo tiempo hay elevación del terreno (es decir, si el movimiento vertical del terreno es positivo (+)), para determinar el eustatismo al dato mareográfico se le suma la elevación del terreno, que es positiva,

$$\text{Eustatismo} = \text{Dato mareográfico} + \text{Movimiento vertical del terreno} \quad (4)$$

Si al dato mareográfico de Buenos Aires ($+1,62 \pm 0,0526$ mm/año), que es el más cercano a la costa de Berisso-Ensenada que se dispone, se le suma la elevación vertical del terreno correspondiente a Buenos Aires ($+2,5 \pm 1,1$ mm/año), se tiene el eustatismo para Buenos Aires, que podemos tomar como representativo de la región:

$$\text{Eustatismo (Buenos Aires)} = 1,6 + 2,5 = 4,1 \text{ mm/año} \quad (5)$$

Con este dato es posible estimar el aumento probable del nivel relativo del agua (dato mareográfico) en la costa de Berisso-Ensenada a partir de la expresión (2), teniendo en cuenta que la elevación local del terreno es de del orden de 1 mm/año:

Dato mareográfico (Ensenada y Berisso) $\approx 4,1 \text{ mm/año} - 1,4 \text{ mm/año} \approx 2,7 \text{ mm/año}$

Si se asume que esta tendencia continuará, se tendría para los próximos 50 años un ascenso del nivel del agua del Río de la Plata del orden de 15 cm. Este valor es inferior al definido a un escenario medio fijado por el IPCC (2007) en que sería superior a los 30 cm. Este último valor se tomará como referencia para la estimación de los efectos ambientales en la región costera que se analiza.

Ecosistemas

Los tipos de ecosistemas identificados, corresponden a una escala de análisis regional, por lo que guardan una estrecha relación con factores ecológicos vinculados al relieve (posición topográfica), y a los principales rasgos geomorfológicos de la región. Sobre la base del análisis de imágenes satelitales y reconocimiento a campo, se han definido las distintas unidades de cobertura y uso del suelo (Tabla 5). Ellas abarcan sectores netamente urbanizados o antropizados (áreas residenciales, sectores industriales, áreas degradadas, etc.), áreas de producción intensiva (agrícola, forestal, etc.); unidades de vegetación dominadas por distintos tipos vegetales, tales como selvas, bosques, arbustales, pastizales, pajonales; y áreas cubiertas por agua o anegables.

Tabla 5: Principales ecosistemas identificados en el área de estudio (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Ecosistema	Características	Categorías Uso y Cobertura
Ecosistemas Acuáticos	Ecosistema natural o artificial (cavas, canales), correspondientes a cuerpos de agua lénticos (lagunas, charcas) o lóticos (ríos, arroyos), permanentes o temporales, identificables a escala regional.	Agua
Pajonal	Ecosistemas naturales o poco modificados, con poco uso o un uso extensivo (ganadero), dominado por gramíneas y graminiformes altas (mayor a 50 cm), sobre suelo inundable, localizados en bajos, depresiones, cubetas o en adyacencias de cuerpos de agua.	Áreas bajas, pajonales
Bosque Inundable	Ecosistema natural o poco modificado, con poco uso o uso extensivo (recreativo, ganadero), dominado por especies leñosas (arbóreas o arbustivas), nativas o exóticas, implantadas o invasoras, localizados en bajos o áreas deprimidas, adyacentes a cuerpos de agua, inundables frecuentemente.	Bosques / arbustales

Ecosistema	Características	Categorías Uso y Cobertura
Pastizal	Ecosistema natural o antrópico (pastura), con uso ganadero, dominado por especies de gramíneas (nativas o introducidas), bajas o medias (menores a 50 cm), localizados sobre suelos bien drenados, en zonas altas, no inundables.	Pastizales, Pastizales bajos
Bosque	Ecosistema implantado (cortinas forestales, montes de álamos, eucaliptus, etc.) o natural (talares) modificado, con uso extensivo (recreativo, ganadero) o intensivo (extracción de leña, minería), dominado por especies leñosas (arbóreas o arbustivas), nativas o exóticas, implantadas o invasoras, localizados en zonas altas, sobre suelos bien drenados, no inundables.	Bosques / arbustales
Ecosistema Degradado	Superficie de suelo desnudo por modificación antrópica, áreas extractivas (canteras), o sectores en los que se ha alterado en su estructura (decapitado), sectores en construcción (loteos, cavas, terraplenes), sin vegetación o con muy baja cobertura vegetal (menor al 10%), procesos edáficos e hídricos alterados aunque no artificializados.	Áreas extractivas, Suelo desnudo, caminos,
Urbano	Ecosistemas artificiales, con alta densidad de ocupación, importante desarrollo de infraestructura, edificios y caminos, incluyendo usos especiales industriales, con una alta proporción del suelo impermeabilizado (cemento, hormigón, asfalto) y dinámica hídrica local completamente alterada y generalmente controlada (pluviales, canales, desagües, etc.). Se incluyen sectores de actividades productivas intensivas (invernáculos).	Urbanización, Invernáculos frutihortícolas, Usos especiales

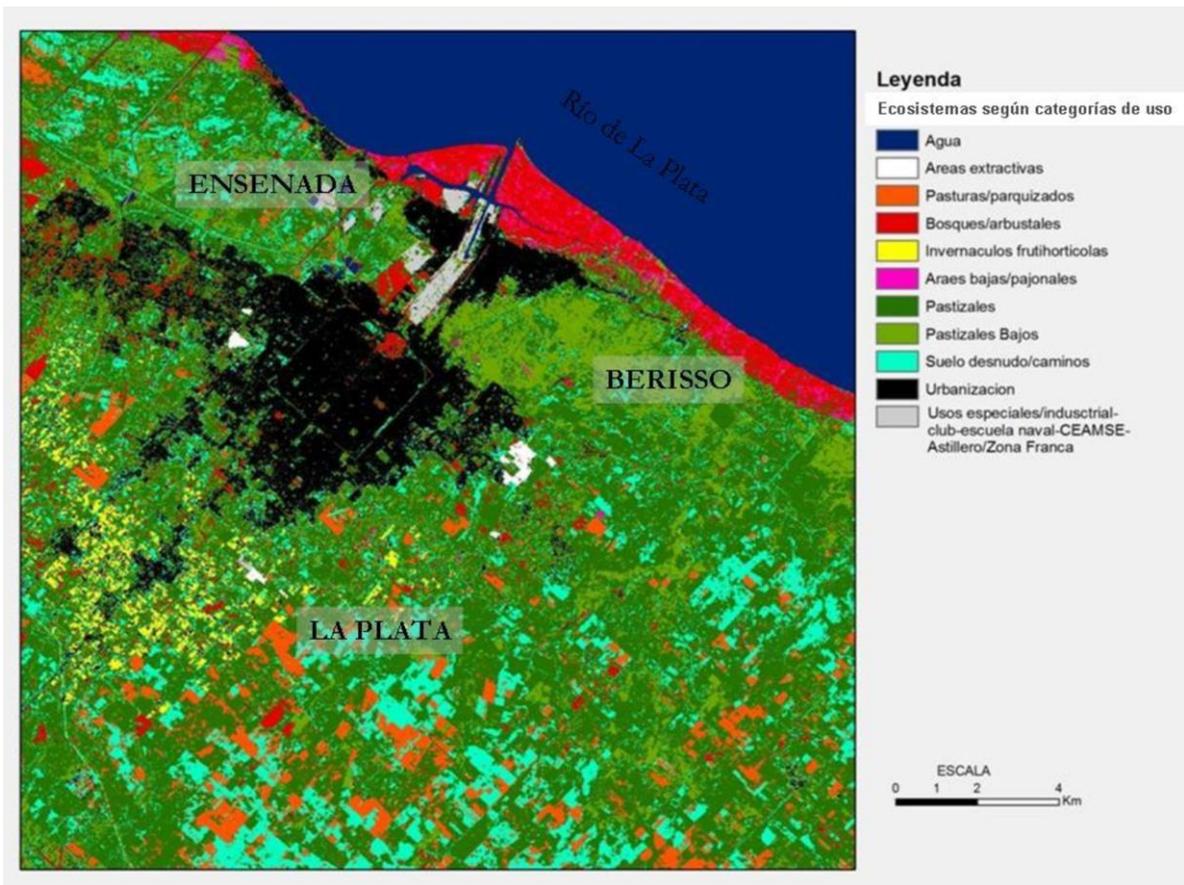


Figura 10: Mapa de ecosistemas y relación con categorías de uso y cobertura en el área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Los tipos de ecosistemas se han definido en función de la fisonomía de la vegetación (bosque, pastizal, etc.), al grado de alteración antrópica y a su relación con la dinámica hídrica (que en esta área está estrechamente vinculada con la posición topográfica).

El mapeo de los ecosistemas, se ha realizado sobre la base del análisis de cobertura y uso del suelo, generado a partir del análisis de imágenes satelitales (año 2011). Por esta razón, la unidad de información (pixel) es de 30 m x 30m, no pudiéndose mapear aquellas comunidades vegetales azonales (que responden a características distintivas del sustrato) que serían evidenciadas a una escala de trabajo más detallada. Por esta razón, en algunas categorías se han incluido ecosistemas que presentan actualmente usos distintos o grado de alteración diferencial (pastizal natural de uso ganadero y pastura implantada).

En el área de estudio se localizan las siguientes áreas bajo régimen de protección especial (Fuente: www.ambiente.gov.ar; www.opds.gba.gob.ar), indicadas en la Fig.11.

- i. Reserva Natural Integral de Punta Lara
- ii. Reserva de Biosfera Pereyra Iraola
- iii. Paisaje Protegido Arroyo El Pescado
- iv. Paisaje Protegido Isla Paulino e Isla Santiago

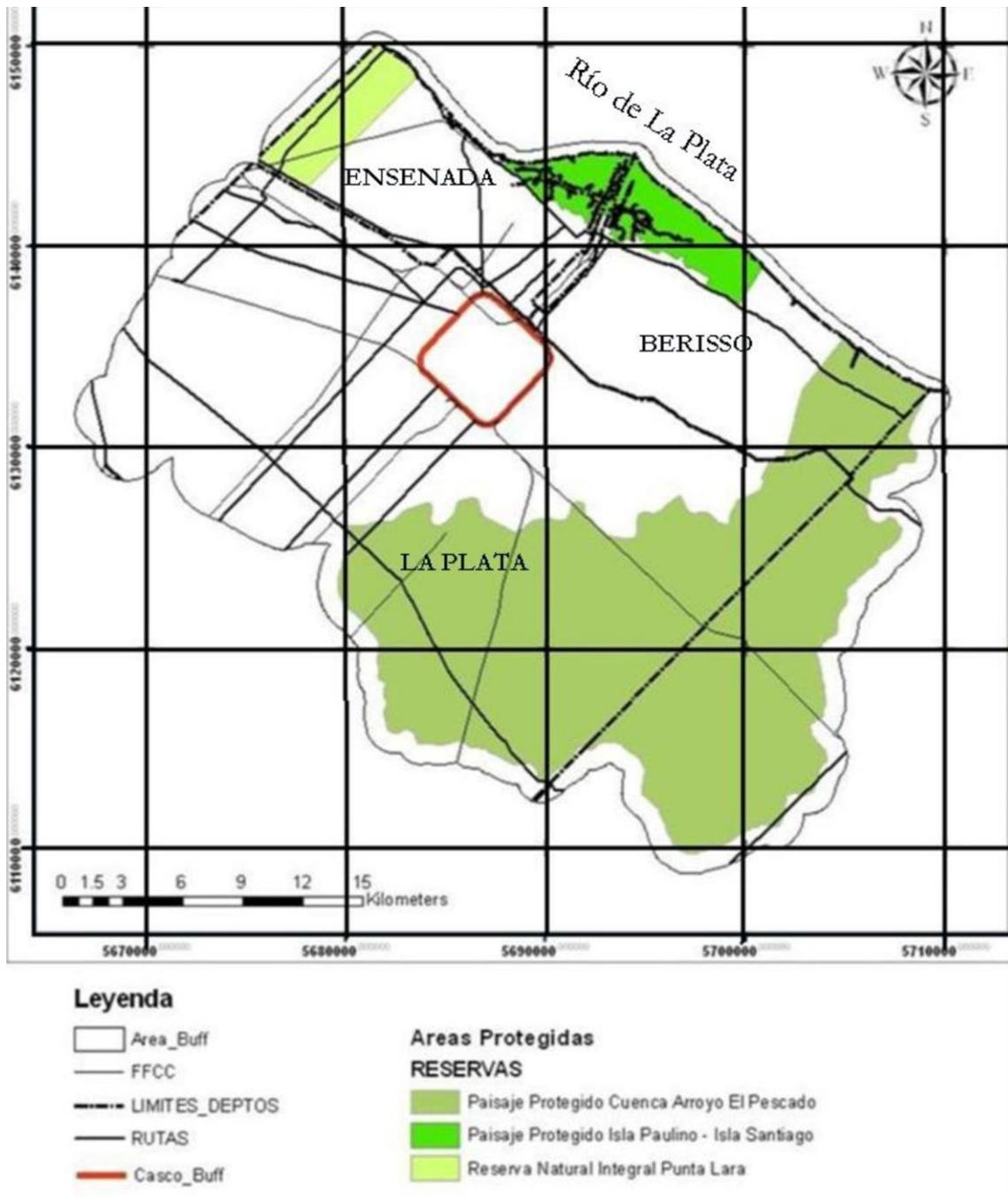


Figura 11: Mapa áreas protegidas en el área de estudio (Fuente: elaboración propia, UNLP PITAP).

Zonificación ambiental

A modo de síntesis del diagnóstico regional, se ha elaborado una zonificación del área de estudio tomando en consideración tanto los aspectos del medio natural (geomorfología, suelos, ecosistemas, dinámica hídrica), como del medio antrópico (rasgos demográficos, usos del suelo, infraestructura, patrón de ocupación del territorio, etc.).

Sobre esta base, pueden reconocerse dos grandes zonas en el área de estudio, en estrecha relación con la zonificación observable por los rasgos geomorfológicos (Figura 4) y que evidencian procesos de desarrollo regional diferentes:

- i) Zona Continental;
- ii) Zona Costera.

Estas grandes zonas, basadas en sus características geomorfológicas, presentan además diferencias en otros aspectos del medio físico y natural, incluyendo características edáficas, hidrográficas y ecológicas. Como consecuencia de ello, el patrón de ocupación del territorio, así como el uso actual del suelo y la distribución de las actividades e intervenciones humanas, presenta también una correspondencia en cada una de las zonas. Ambas zonas son claramente diferenciables ya que existe un escalón o desnivel a cota 5 msnm, que correspondía antiguamente a la línea de costa del Río de La Plata, y que ha sido utilizado para el desarrollo de infraestructura que define un límite físico claramente perceptible entre ambas zonas (ferrocarril). Las características que definen cada una de las zonas se describen a continuación en base a sus rasgos ambientales (medio natural y antrópico).

i) Zona Continental:

Zona topográficamente alta (de 5 a más de 25 m snm), correspondiente geomorfológicamente a la planicie continental, presenta una red hidrográfica bien definida (con cauces, lagunas, etc.). Los ecosistemas originales eran pastizales desarrollados sobre buenos suelos, aptos para la agricultura, ganadería intensiva o extensiva; actualmente se encuentran bajo un uso intensivo del suelo (agricultura, ganadería, florihorticultura), o han sido ocupadas por zonas urbanas (incluyendo barrios cerrados), presentando un gran desarrollo de infraestructura (camino, acueductos, redes cloacales, etc.). En sectores de la periferia urbana, puede observarse que en los últimos

años existe un progresivo incremento de las áreas de producción agropecuaria intensiva, incluyendo áreas de pasturas implantadas, cultivos flori-hortícolas bajo cubierta, centros de cría intensiva de animales (“feedlot” de ganado vacuno, criadero de pollos y cerdos) y extracciones de sedimentos, con la consecuente formación de canteras. Es la zona actualmente más antropizada, con un mayor grado de impermeabilización del suelo y una clara tendencia a incrementarse por invernáculos, caminos asfaltados, urbanizaciones. Estos rasgos alteran tanto las características del ecosistema (suelo, vegetación), como su dinámica hídrica (incremento del escurrimiento superficial, reducción de la infiltración, etc.) pudiendo tener, en el largo plazo, consecuencias negativas a escala regional. La zona corresponde mayormente al Pdo. de La Plata, con sus características sociodemográficas de municipio en crecimiento y expansión, con un perfil administrativo y universitario, y una importante actividad agropecuaria intensiva.

ii) Zona Costera:

Zona topográficamente baja (menos de 5 m snm), correspondiente geomorfológicamente a la planicie costera y al denominado “delta” del río Santiago en el mapa geomorfológico. Ecológicamente es una zona de bañados y bajos inundables (incluyendo humedales de importancia regional que se encuentran actualmente alterados por infraestructuras o rellenos), cursos de agua naturalmente no encauzados (actualmente canalizados), escurrimiento alterado por obras de infraestructura (caminos, terraplenes, áreas urbanizadas, áreas industriales) y sector costero parcialmente modificado por la presencia del puerto y del murallón costero. Los ecosistemas originales correspondían a zonas anegables, dominados por pajonales y bosques inundables, desarrollados sobre suelos de baja o nula aptitud agropecuaria, y que actualmente se encuentran bajo un uso ganadero extensivo, o transformados para un uso industrial o urbano (relleno mediante), o para usos recreativo (especialmente en el sector costero en donde se desarrollan importantes áreas de uso privado como clubes y recreos). Se diferencia en esta zona, un sector de “cordones litorales” que presenta un relieve positivo, asociado a rasgos geomorfológicos diferenciales, correspondientes a depósitos conchiles en forma de cordones o lenguas elongadas subparalelas a la costa, coincidentes con antiguas líneas de costa sobre los que se observa un suelo de naturaleza calcárea (rendzinas) que muestra una mayor permeabilidad, y sobre los que se desarrolló una vegetación distintiva de naturaleza boscosa xerófila (dominada por formaciones de Talas y Coronillos de no más de 6 m de altura). La zona presenta

grandes zonas vacantes, algunas bajo algún tipo de protección (Reserva natural provincial de Punta Lara, Paisaje protegido, etc.). Corresponde a los partidos de Berisso y Ensenada, que presentan un perfil netamente industrial (especialmente Ensenada) debido especialmente a la presencia del polo petroquímico y al puerto, con tendencia a consolidarse como el centro industrial de importancia regional por el desarrollo de nuevas instalaciones (central térmica, planta de tratamiento de residuos, etc.).

Tendencia del escurrimiento superficial

La modelización se efectuó por medio de una de la interacción entre los cambios del uso del suelo, la textura del suelo y evolución pluvial con el fin de pronosticar la influencia sobre la escorrentía superficial del borde sur del Río de La Plata.

Para completar la caracterización hidrodinámica de la relación aguas superficiales y la probable influencia de las distintas actividades antrópicas (vegetación y uso del suelo), se debió analizar la estructura edáfica (Fig.2). Por ello, a partir de la clase textural de los suelos según la clasificación de USDA (United States Departamento of Agricultura, 1964), se definieron los grupos hidrológicos (GH) en el área en estudio. Posteriormente por medio del procesamiento de los mapas de suelos elaborados por Hurtado et al (2006) se generó el mapa de GH.

La zonificación por grupos hidrológicos de suelos se estableció a partir de la interpretación edáfica, definiendo como A a la unidad cartográfica (UC) Haprendoles típicos, como B Argiudoles vérticos y Hapludertes típicos y la UC Hapludoles oxiacuicos Natracualfes vérticos, como C Natracuales Natracualfes argiacuoles epiacuoles típicos vérticos, Natracualfes típicos vérticos, Natralboles y Natralcuoles típicos y vérticos, Natracualfes típicos, y como D las UC Natracuertes típicos y Fluvacuentes típicos. El análisis de esta zonificación, se define que 29% de la cuenca está representada por el GH A, 47% por el B, 1% por el C y el D cubre el 23%.

La zonificación del escurrimiento superficial se estableció a partir de un Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas herramientas para el manejo y procesamiento de información geoespacial, que constituyen los SIG pueden ser automatizadas y utilizadas para la obtención de nueva información útil para el análisis de la hidrología de superficie (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). Una de ellas, es la herramienta GeoQ que se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas y proyectos ambientales, sociales e hidrológicos; para estimar descargas, y para predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios (Rodríguez Vagaría et al, 2012).

La aplicación de esta metodología generó resultados tales que conformaron una base de datos que se procesó con SIG para realizar un análisis geoespacial de la escorrentía y el coeficiente de escorrentía (CE) para cada estación meteorológica, afectando un área definida por polígonos de Thiessen, en cada período considerado.

El análisis de la tendencia de la relación precipitación – escorrentía a nivel espacio temporal, fue realizada para un escenario integrador pasado - presente - futuro, considerando los períodos entre los años 1968 - 2011 – 2050 (Fig.6).

Los datos de precipitación corresponden al Aeródromo La Plata y del Observatorio de la UNLP. Se compatibilizaron las series de lluvia diarias según los períodos completos de información, mencionados en el capítulo 3. Una vez compatibilizadas se dividió cada serie en dos períodos de 22 años: 1968-1989 y 1990-2011. La proyección pluviométrica para el período 2029-2050 (22 años) se realizó por medio de un coeficiente de proyección obtenido a partir de la evolución de la precipitación media anual para cada uno de los períodos para cada estación.

A partir de los resultados de la modelización, se generó un pronóstico de la influencia de los factores vegetación y uso del suelo – suelo – precipitación sobre la escorrentía superficial, indicando un aumento de ocupación en superficie desde el inicio del estudio, como se mencionó en la tendencia de cambios de usos del suelo.

La situación actual expresa el aumento de la escorrentía sobre las áreas ocupadas actualmente por invernáculos y el crecimiento de la urbanización, siendo considerable su impacto sobre el año 2050.

El modelo cartográfico generado expresa la secuencia de procesamiento digital que se desarrolló para el diagnóstico hidrológico inicial. A partir de la interpretación de imágenes satelitales, cartografía y bibliografía, se obtuvo información básica, reflejada en la base de datos cartográfica (suelos y uso del suelo). Esta tarea se basó en identificar, procesar y ajustar al área en estudio, la información antecedente, con SIG (Fig. 6).

La aplicación del macro-modelo de procesamiento automático para el cálculo de la escorrentía GeoQ, se aplicó a través de un entorno gráfico de pasos múltiples, para zonificar el NC para los tres períodos de tiempo (Fig.12).

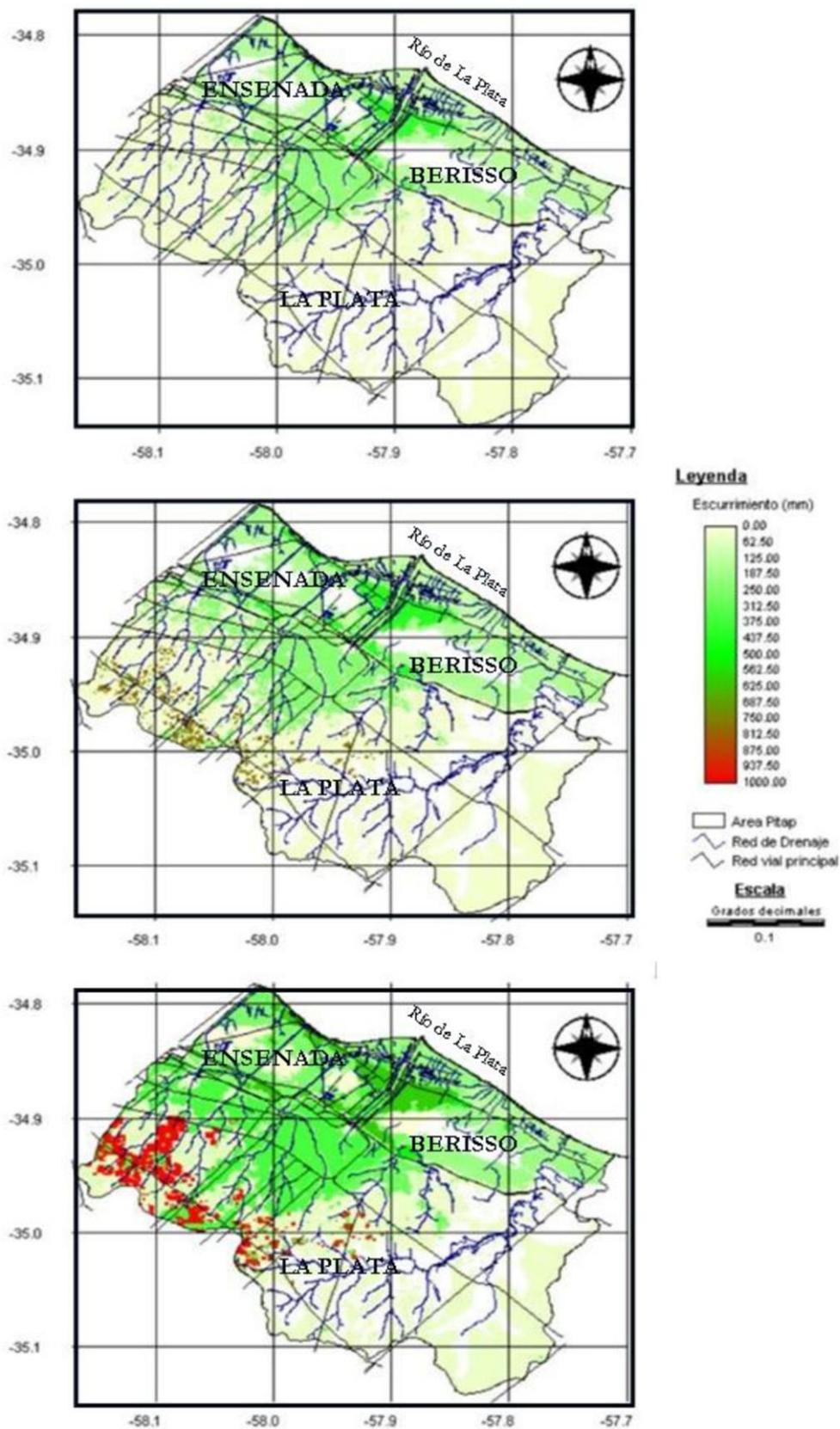


Figura. 12: Tendencia de la evolución de la escorrentía media anual en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050 (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Posteriormente se procesó en forma integrada con la base de datos de lluvias y se estableció el CE y su área de ocupación.

En la Fig.13, se representa la distribución del coeficiente de escurrimiento (CE) en el área en estudio, zonificando de manera análoga los valores de escurrimiento indicando el aumento de la distribución del CE hacia la proyección 2050. Además se visualiza que las áreas sin cambios en la cobertura del suelo han reflejado un leve aumento debido al aumento de las precipitaciones medias anuales.

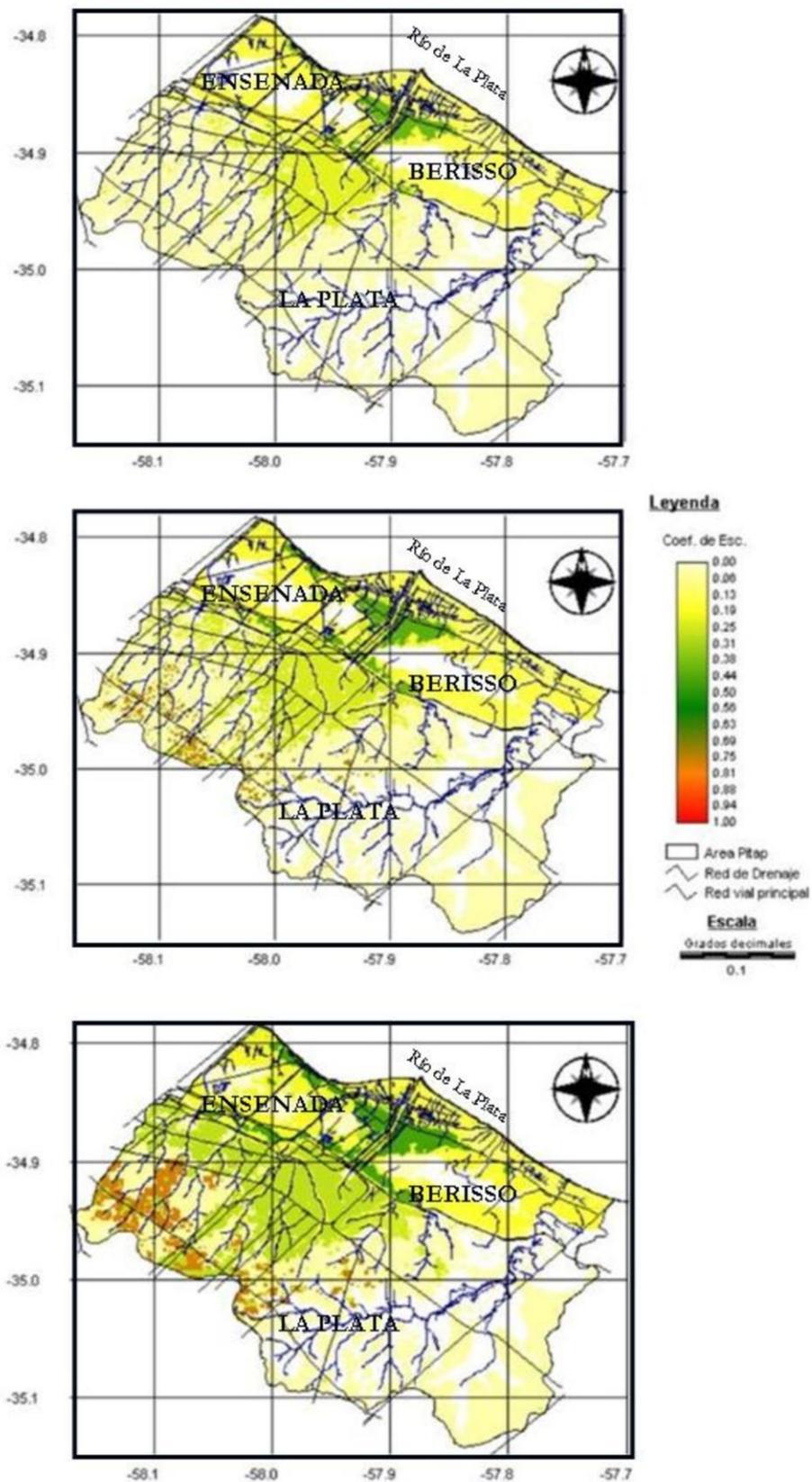


Figura 13. Mapa de Tendencia de la evolución del coeficiente de escorrentía en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050. (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Análisis de vulnerabilidad

La vulnerabilidad ambiental puede ser definida como la susceptibilidad de los distintos elementos o procesos ambientales de sufrir modificaciones estructurales, verse afectado o quedar dañado o limitado, por efecto de alguna acción antrópica específica. Por elementos o procesos ambientales se consideran tanto los del medio natural (geomorfológico, hídrico, ecológico, etc.) como humano (infraestructura, actividades productivas, áreas residenciales, etc.), incluyendo recursos naturales y servicios ecosistémicos.

El análisis de vulnerabilidad se orienta a los cambios que pudieran predecirse local o regionalmente, en un escenario de cambio climático global. En este contexto, las predicciones se orientan a los cambios en la dinámica hídrica regional, lo que afectaría tanto el nivel medio del Río de La Plata, como en el régimen de precipitaciones en las cuencas hidrográficas que atraviesan el área de estudio.

Las predicciones que se realizan en relación al cambio climático global tienen necesariamente un horizonte temporal a largo plazo (del orden de los 25, 50 o 100 años). Por otro lado, y desde un punto de vista ambiental, el territorio tiene por sí mismo una dinámica propia, que ocasiona o resulta en modificaciones en sus características (patrones y procesos) que suelen ser evidentes también a largo plazo, y que se vinculan con procesos de desarrollo urbano, productivo, de infraestructura, etc., que puede ser independiente de aquellos cambios climáticos globales. A tal fin, se elaboraron una serie de mapas de vulnerabilidad ambiental del área de estudio, para distintos escenarios de cambio climático incluyendo algunos que incorporan los cambios previsibles en el uso del suelo en la región. Primeramente se describe el modelo de vulnerabilidad ambiental regional actual, posteriormente se definen los escenarios de cambio climático, y finalmente se presentan los mapas de vulnerabilidad para los distintos escenarios.

Modelo de Vulnerabilidad regional

La vulnerabilidad ambiental puede descomponerse en dos componentes, la vulnerabilidad natural y la vulnerabilidad humana. La primera se relaciona con la

susceptibilidad de los distintos tipos de ecosistemas frente a eventuales cambios en el nivel del Río de la Plata (RLP) o en el régimen de precipitaciones. La vulnerabilidad humana, es función de la ocupación del área por la población, las actividades que realiza, y su capacidad de responder o resistir los efectos de eventos naturales (inundaciones, etc.) asociados a cambios en las condiciones climáticas regionales.

Vulnerabilidad natural

La vulnerabilidad natural se define en función de los tipos de ecosistemas presentes en la región, y su potencial dependencia o interacción con la dinámica hídrica local. Aquellos ecosistemas más dependientes de las condiciones hídricas serán más vulnerables o susceptibles frente a modificaciones en las mismas. Complementariamente, se incluye el valor patrimonial de cada tipo de ecosistema en función de su localización en áreas consideradas formalmente de importancia para su conservación (área natural protegida).

En la Tabla 6 y 7, se presentan los valores asignados a cada tipo de ecosistema y área patrimonial, utilizadas para la elaboración del mapa de vulnerabilidad natural, respectivamente. A fin de calcular la vulnerabilidad natural, y elaborar el mapa respectivo, se integran ambas valoraciones calculando el producto de ambos valores para cada unidad de información.

Tabla 6: Vulnerabilidad natural en función de los ecosistemas (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Ecosistema	Vulnerabilidad	Valor
Acuático	Muy alta	10
Pajonal	Alta	8
Bosque Inundable	Alta	8
Pastizal	Moderada	6
Bosque	Moderada	6
Ecosistema Degradado	Baja	4
Urbano	Muy baja	2

Tabla 7: Vulnerabilidad natural en función del valor patrimonial (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Área Patrimonial	Vulnerabilidad Patrimonial	Valor
Reserva natural	Muy alta	1
Paisaje protegido	Alta	0,9
Sin protección específica	Baja	0,7

Los resultados obtenidos (Fig. 14), muestran que los sectores más vulnerables (color rojo), corresponden a aquellos ecosistemas acuáticos localizados en la zona costera del área (Río Santiago, lagunas permanentes). En caso de que ocurran variaciones asociables al cambio climático global (CCG), estos ecosistemas serán los más afectados debido a su estrecha dependencia de la dinámica hídrica regional.

En segundo término (color anaranjado), los ecosistemas más vulnerables son aquellos localizados en zonas bajas y anegables del sector costero, correspondientes a humedales de importancia regional que dependen del nivel de agua subterránea (“capa freática”) o al régimen de mareas (selva marginal, bosques ribereños). Asociado a eventuales cambios en la dinámica hídrica en estos ecosistemas, es de esperar variaciones en la abundancia y distribución de especies vegetales y animales, incluyendo algunas de importancia económica (como forraje, o recurso natural), sanitaria (vectores de enfermedades) o recreativa (peces, invertebrados).

Además de estos sectores, ubicados mayormente en la zona costera, es importante mencionar que también presentan una alta vulnerabilidad las áreas bajas y anegables localizadas en la zona continental.

Los sectores que presentan una menor vulnerabilidad natural (amarillos y verdes) , son aquellos ocupados por ecosistemas urbanos o degradados, localizados mayormente en sectores de cotas más altas y alejados de los cursos de agua.,

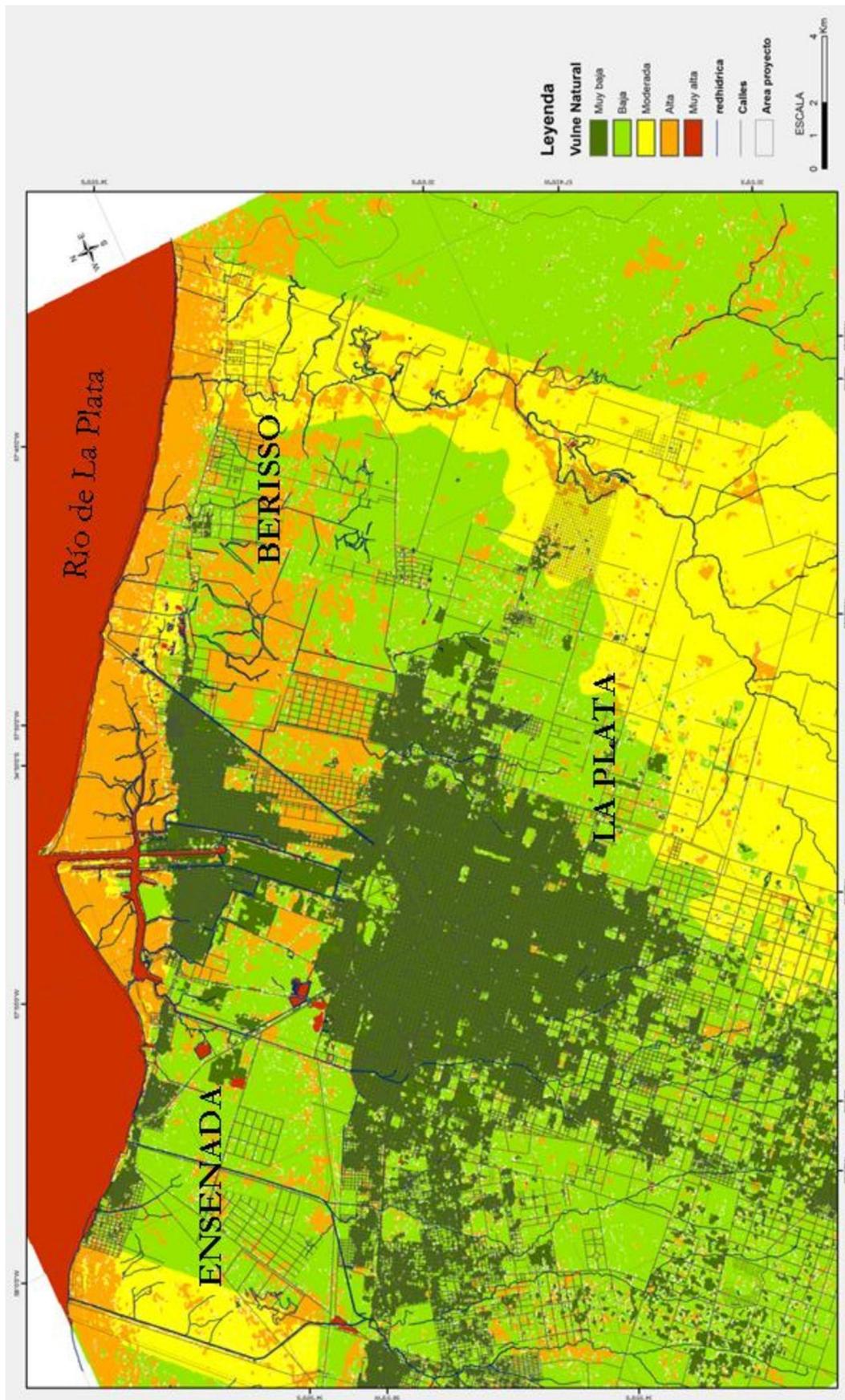


Figura 14. Mapa de vulnerabilidad natural (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Vulnerabilidad humana

Según Con et al. (2001), la vulnerabilidad social “refiere a aquellas situaciones en donde grupos, hogares o individuos están más expuestos a quedar afectados por cambios en sus condiciones de vida, por lo cual, se hallan en una situación de mayor inseguridad en comparación con otros grupos, hogares o individuos.” La vulnerabilidad social no es un estado pasivo del individuo o del grupo, sino que, en el enfoque de la vulnerabilidad se considera que las personas tienen activos y recursos que pueden ser movilizados en respuesta a un contexto de cambio, una oportunidad o un riesgo (Busso, 2001).

Según Golovanesky (2007), la vulnerabilidad social puede definirse como la exposición a un riesgo más la capacidad para enfrentarlo. Según esta autora, el enfoque de vulnerabilidad social se relaciona con la posibilidad de captar la forma y las causas por las que diversos grupos sociales están sometidos a eventos y procesos que atentan contra su capacidad de subsistencia, su acceso a mayores niveles de bienestar y el ejercicio de sus derechos ciudadanos. Por ello, la vulnerabilidad tiene carácter polisémico y da lugar a múltiples enfoques metodológicos (Busso, 2001).

La mayoría de los antecedentes metodológicos para la conformación de un Índice de Vulnerabilidad Social (IVS), se basan en información existente en encuestas o censos, lo que permite y facilita su espacialización en el territorio. Algunas de las dimensiones o variables incluidas en su estimación o cálculo incluyen: hacinamiento, calidad de la vivienda, ingresos, desocupación, cobertura de salud, escolarización, etc. (Con et al., 2001). En su propuesta de IVS, Golovanesky (2007) incluye variables referidas a la calidad del hábitat, educación, empleo, protección social y otros rasgos demográficos.

Una alternativa para la estimación de la vulnerabilidad humana, utilizando la información disponible en las estadísticas oficiales del INDEC, es el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) (Tabla 8, CEPAL/PNUD, 2001). El NBI, utiliza indicadores relacionados con cuatro áreas de necesidades básicas: vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo. Se considera que un grupo humano tiene su NBI cuando presenta alguna de las siguientes condiciones: más de tres personas viviendo en una misma habitación; alojamiento en viviendas precarias o de

inquilinato; falta en la vivienda de retrete con descarga de agua; o que en la familia exista algún niño entre 6 a 12 años que no vaya a la escuela. Claramente, aquellos sectores que presenten mayores valores de NBI (% de la población), presentarán una mayor vulnerabilidad social.

Tabla 8: Dimensiones y variables para la estimación de las Necesidades Básicas Insatisfechas de una población (Fuente: CEPAL/PNUD, 2001).

Necesidades básicas	Dimensiones	Variables Censales
Acceso a la vivienda	Calidad de la vivienda	Materiales de construcción utilizados en piso, paredes y techo
	Hacinamiento	a) Número de personas en el hogar b) Número de cuartos de la vivienda
Acceso a servicios sanitarios	Disponibilidad de agua potable	Fuente de abastecimiento de agua en la vivienda
	Tipo de sistema de eliminación de excretas	a) Disponibilidad de servicio sanitario b) Sistema de eliminación de excretas
Acceso a educación	Asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo	a) Edad de los miembros del hogar
		b) Asistencia
Capacidad económica	Probabilidad de insuficiencia de ingresos del hogar	a) Edad de los miembros del hogar
		b) Último nivel educativo aprobado
		c) Número de personas en el hogar
		d) Condición de actividad

En este estudio se ha considerado el índice de NBI como estimador de la vulnerabilidad humana (socioeconómica), frente a las eventuales consecuencias regionales de un Cambio Climático Global (CCG). Se considera que aquellos grupos con NBI presentan una mayor vulnerabilidad socioeconómica frente a eventos de inundación asociados a la dinámica del Río de La Plata o al incremento en las precipitaciones regionales.

El cálculo de la vulnerabilidad humana, surge de combinar el porcentaje de la población con NBI (% NBI) con la densidad de la población (habitantes/superficie). De esta

forma, se identifican aquellos sectores del territorio (radios censales) que presentan una mayor densidad de población con altos valores de NBI. Se calcula a partir del mapa de NBI ajustado por la densidad demográfica. En ambos casos se cuenta con información continua, la que previamente se estandariza (a una escala de 0 a 1), a fin de generar un modelo de gradiente continuo (Fig. 15).

Los resultados indican que los sectores que presentan una mayor vulnerabilidad humana se localizan tanto en la zona costera (Isla Paulino), como en la zona continental (barrios periféricos de la ciudad de La Plata). Como la unidad de información utilizada para aplicar el índice de vulnerabilidad es el radio censal (unidad utilizada en la base de datos del censo nacional), la distribución de los sectores más vulnerables no sigue un patrón regional, sino que depende de la ubicación de los barrios carenciados, sin infraestructura, ni servicios, de desarrollo espontáneo o no planificado que se encuentran dispersos en toda la región.

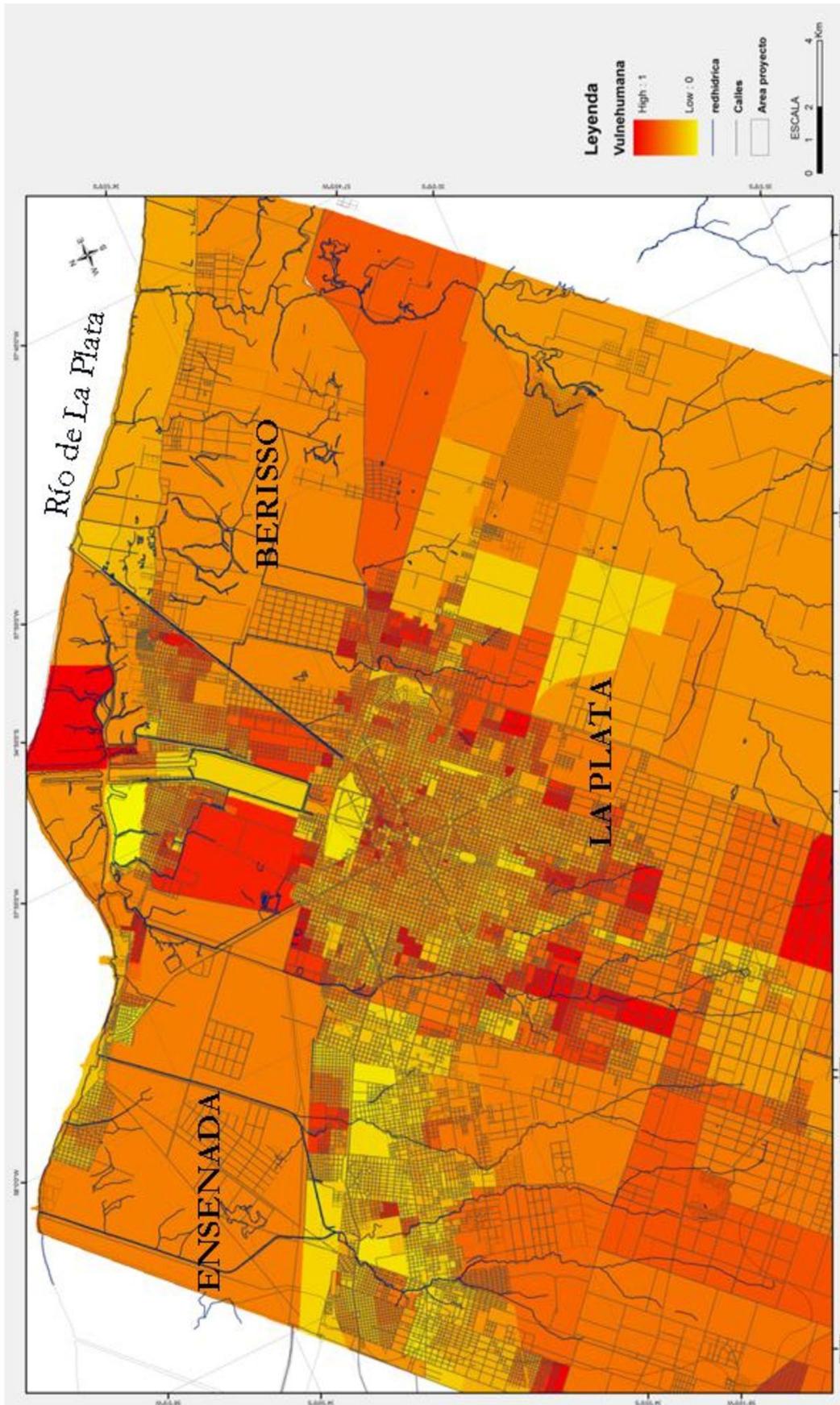


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad humana (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Escenarios de cambio climático global (CCG)

A fin de avanzar en el análisis de los efectos de CCG sobre el área de estudio, es necesario definir la naturaleza y magnitud de los cambios de las variables climáticas a escala regional.

Las predicciones asociadas al CCG en la región están esencialmente vinculadas a cambios en el nivel del Río de La Plata, y en el nivel de las precipitaciones anuales. , Sobre un horizonte temporal de 50 años (estimaciones al año 2050). se han definido los siguientes escenarios:

- i. Incremento del nivel medio del Río de la Plata (RLP) en el sector costero de 30 cm, lo que implica pasar de una Cota 0 (cero) a una de 0,30 m.
- ii. Incremento del nivel de marea alta del Río de la Plata en el sector costero de 60 cm, lo que implica pasar de una Cota actual de 0,50 m a otra de 1,10 m.
- iii. Incremento de las precipitaciones medias anuales en la región de un 10 % (pasaría de 1.000 a 1.100 mm anuales en promedio).

Es importante mencionar que concomitantemente a los cambios en la precipitación y nivel del Río de La Plata, es de esperar cambios en la dinámica de los ecosistemas regionales. Específicamente se prevén cambios en la abundancia y distribución de especies vegetales o animales, sean nativas o exóticas, algunas de importancia económica, sanitaria o recreativa. Estos cambios pueden ocasionar modificaciones en la dinámica hídrica local (balance hídrico), y secundariamente, en las actividades productivas de la región. Estos cambios no han sido considerados en el análisis de los efectos del CCG sobre la región, ya que el presente proyecto se enfoca a los cambios en la dinámica hídrica (efectos directos del CCG).

Como consecuencia de los resultados obtenidos en el ajuste de los métodos de medición de las alturas sobre el nivel del mar, se ha podido ajustar la topografía regional, permitiendo generar un nuevo Modelo de Elevación del Terreno (Fig. 3; MDE). Este MDE, es una nueva descripción de la topografía regional que tiene un mayor grado de precisión en la estimación de las consecuencias del CCG sobre el área de estudio. Sobre la base del análisis del nuevo modelo, se han verificado los

valores de las cotas de referencia del nivel del agua en el mareógrafo de La Plata con respecto al 0 m.s.n.m..

En tal sentido, se han ajustado los valores que definen la condición media del Río de La Plata en la zona costera de Berisso y Ensenada (situación actual: 2013):

- Onda diaria de marea alta (se refiere a la fluctuación en el nivel medio del río en la zona costera diariamente): amplitud total 1 m (+50 cm y - 50 cm). Cota: +0,50 m.s.n.m.
- Nivel de Sudestada “media” (cota a la cual llega un evento medio de sudestada). Valor de referencia: 2,30 m. Valor ajustado: $2,30 - 0,65 = 1,65$ m.s.n.m..
- Nivel de Sudestada “extrema” (cota a la cual llega un evento extremo de sudestada). Valor de referencia: 2,80 m (año 1978). Corresponde a una situación de alerta o evacuación, correspondiente a una inundación frecuente (1 ó 2 por año). Valor ajustado: $2,80 - 0,65 = 2,15$ m.s.n.m..
- Máximo histórico (cota máxima a la cual llegó el nivel del RLP). Valor de referencia: 4,45 m (año 1940). Corresponde a una inundación extraordinaria. Valor ajustado: $4,45 - 0,65 = 3,80$ m.s.n.m..

A fin de simular los efectos del CCG sobre la región es necesario plantear los escenarios previsible de cambios en parámetros relevantes. Por un lado, existen numerosos cambios que afectarán la región independientemente de la naturaleza o magnitud de los cambios asociados a un CCG (o a los efectos del mismo sobre la región). Tales cambios incluyen modificaciones naturales de origen geológico (elevación del continente), o ecológico (ingreso y dispersión de nuevas especies vegetales o animales), así como antrópicos, ya sean cambios en el patrón de uso del suelo por ingreso de nuevos cultivos, expansión urbana o nuevas infraestructuras (terraplén o murallón costero, autopistas y caminos, ampliación del puerto, etc.). Estos cambios generarán modificaciones en, por ejemplo, la dinámica hídrica superficial o subterránea, y eventualmente podrán afectar el riesgo de inundación.

Por otro lado, y en el marco del presente estudio, los efectos del CCG se han orientado a los cambios en variables hidrológicas, tanto referidas al nivel del mar (RLP en este caso), como el nivel medio de las precipitaciones. En ambos casos se toman valores medios de referencia, por lo que no se ha incluido la frecuencia de eventos. Esto es importante debido a que la mayoría de los episodios de inundación se asocian

naturalmente a eventos extremos de precipitación o sudestadas, cuya frecuencia suele ser baja a muy baja (con tiempos de recurrencia de 10 o más años). Un incremento medio de las precipitaciones o del nivel del mar puede repercutir también en un incremento de la frecuencia de eventos extremos, aumentando la ocurrencia de inundaciones en la región.

Las situaciones de cambio, asociadas al CCG analizadas, para los cuales se han generado escenarios de simulación espacializados, son las siguientes:

- i. Efecto en situación normal o media: $0 + 0,30 \text{ m} = \text{cota } 0,30 \text{ m.s.n.m.}$.
- ii. Efecto en situación de marea alta: $0,50 + 0,60 \text{ m} = \text{cota } 1,10 \text{ m.s.n.m.}$.
- iii. Efecto en situación de sudestada media: $1,65 + 0,60 \text{ m} = \text{cota } 2,25 \text{ m.s.n.m.}$.
- iv. Efecto en situación de sudestada extrema: $2,15 + 0,60 \text{ m} = \text{cota } 2,75 \text{ m.s.n.m.}$.
- v. Efecto en situación de crecida histórica: $3,80 + 0,60 = \text{cota } 4,40 \text{ m.s.n.m.}$.

Los resultados (Fig. 16 y 17), indican claramente el incremento en el área inundada a medida que se incrementa el nivel del RLP, para un evento frecuente (sudestada media: 2,25 m.s.n.m.) o un evento infrecuente o de muy baja recurrencia, como fue la crecida histórica registrada en la región (Cota 3,80 m.s.n.m.). En este último caso, se puede visualizar también el potencial efecto del CCG sobre la cota de inundación, dando lugar a que la cota de inundación alcance los 4,40 m.s.n.m. (en el DEM de valores ajustados). Finalmente, y en relación a los cambios asociados a un incremento de las precipitaciones en la región, es también dificultoso poner en evidencia los sectores que van a presentar mayores niveles de modificación en la dinámica hídrica regional. Esto es así debido a que se desconoce el futuro régimen de precipitaciones, incluyendo eventos extremos o de gran intensidad, y se desconoce el cambio en el funcionamiento del sistema hídrico local (infiltración, escurrimiento, etc.) como para permitir la simulación de de distintas situaciones y de los niveles de inundación.

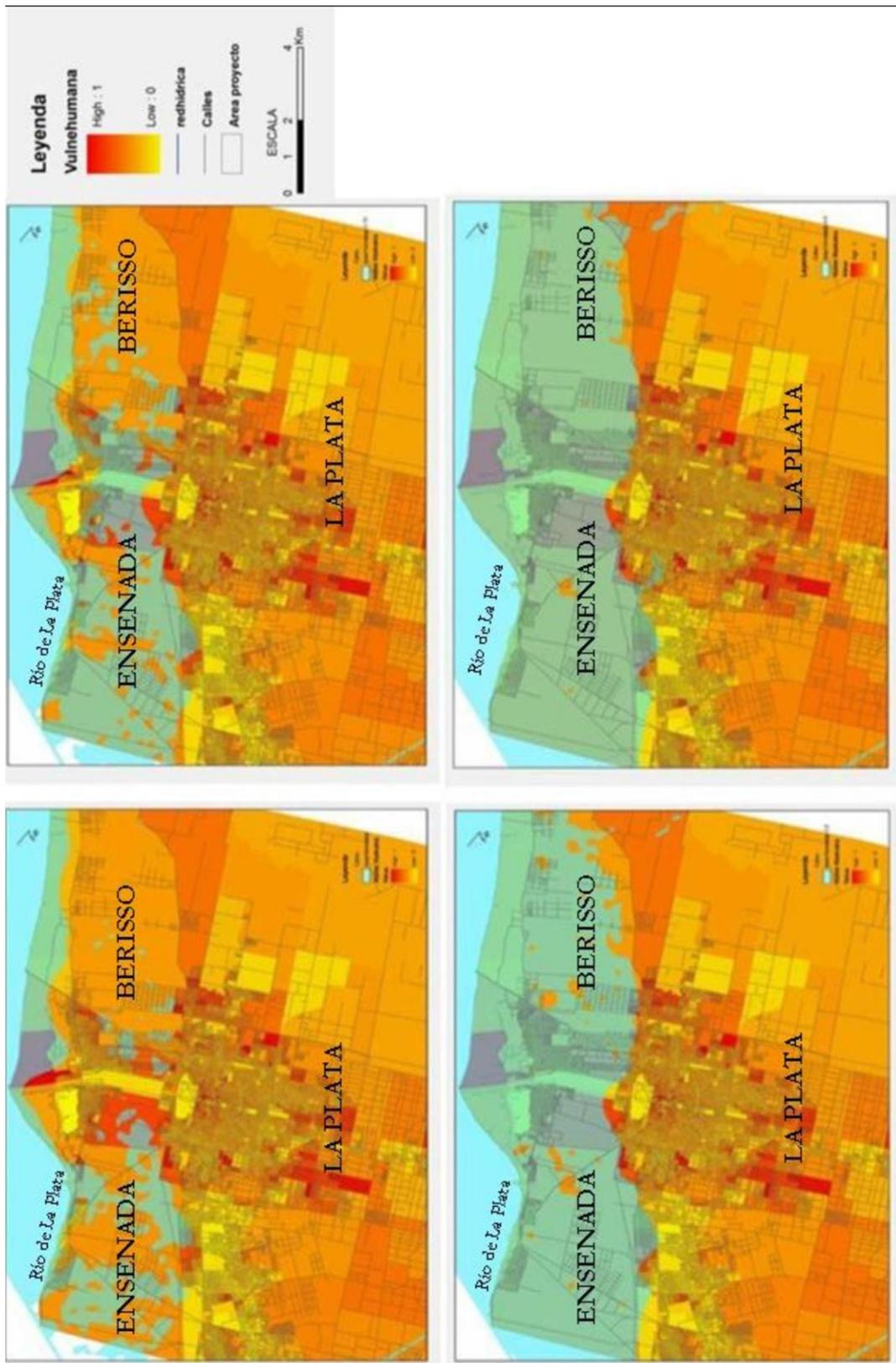


Figura 16. Simulación del efecto del CCG sobre la vulnerabilidad humana (escenarios para cota: 2,25; 2,75; 3,80 y 4,40 msnm) (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

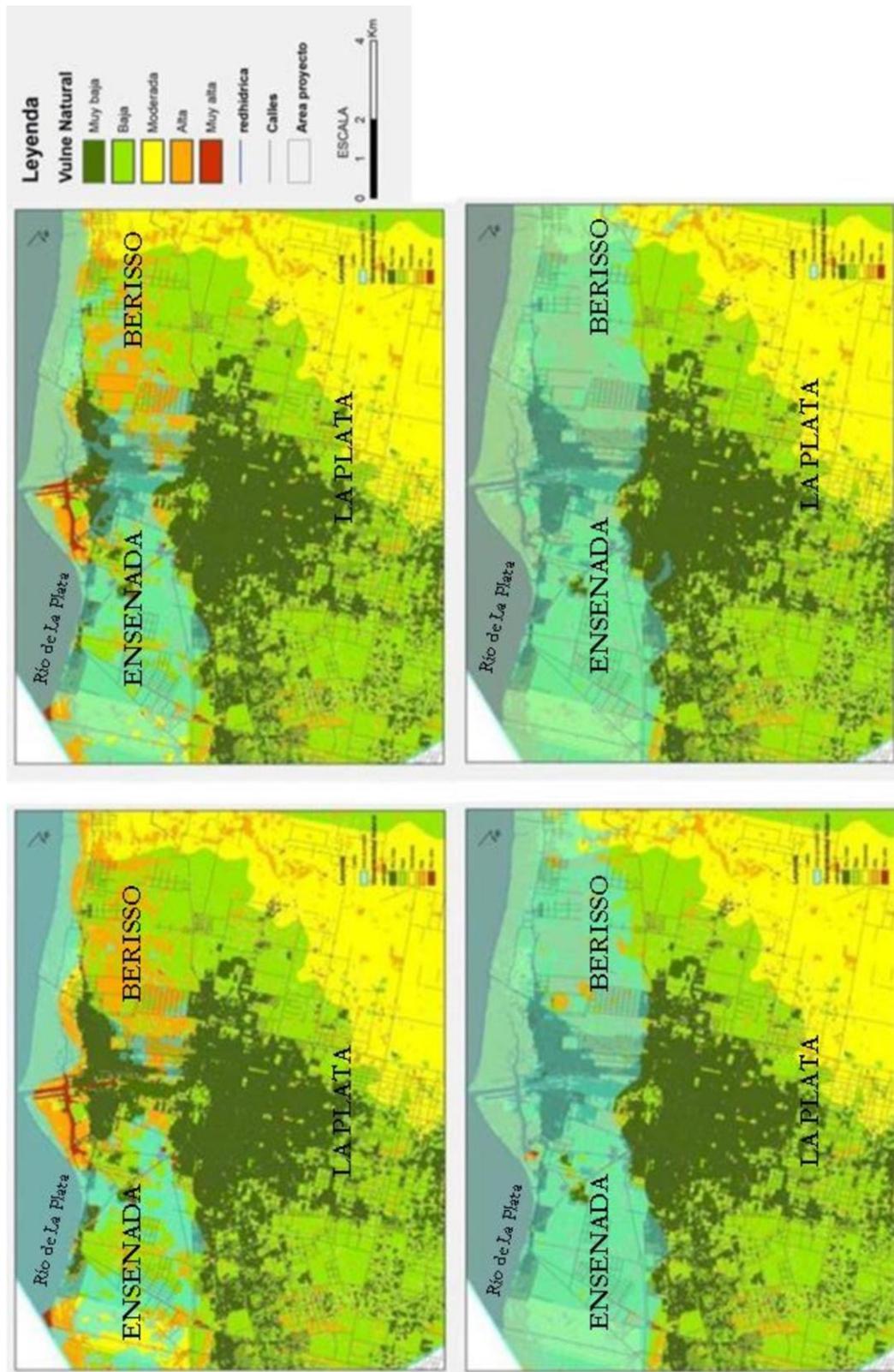


Figura 17. Simulación del efecto del CCG sobre la vulnerabilidad natural (escenarios para cota: 2,25; 2,75; 3,80 y 4,40 msnm) (Fuente: elaboración propia; UNLP PITAP, 2012).

Consideraciones finales

El diagnóstico regional efectuado indica que los ecosistemas naturales más vulnerables a eventuales modificaciones en las características hidrológicas asociada al cambio climático global (CCG) son aquellos actualmente con una mayor dependencia de la dinámica hídrica local y regional (cuerpos de agua de la zona costera, lagunas), seguidos por los humedales regionales comprendiendo las áreas bajas inundables, tanto en la zona costera (Berisso y Ensenada), como continental (La Plata).

Los sectores que presentan una mayor vulnerabilidad humana (socioeconómica), se localizan tanto en la zona costera (Isla Paulino), como en la zona continental (barrios periféricos de la ciudad de La Plata sin infraestructura, ni servicios, de desarrollo espontáneo o no planificado).

Se reconoce que simultáneamente a un eventual CCG se producen modificaciones en la fisonomía de la región, incluyendo cambios en el uso del suelo por actividades agropecuarias (incorporación de invernáculos en áreas rurales), o por el desarrollo urbano y de infraestructura regional. Estos cambios pueden modificarla dinámica del agua superficial y subterránea, por un aumento de la cobertura del suelo, eliminación de una cubierta vegetal absorbente o aumento de la extracción de agua de los acuíferos para riego, afectando la disponibilidad de agua y la magnitud de los excesos hídricos (inundaciones).

Una modelización de la interacción entre los cambios del uso del suelo y la evolución pluvial posibilita pronosticar la influencia sobre la escorrentía superficial a escala regional para 2050. La tendencia temporal de la precipitación, muestra un incremento de las precipitaciones de casi un 10 %. Los cambios más significativos en la cobertura y uso del suelo son la pérdida del pastizal natural y de los cuerpos de agua (permanentes o temporarios); así como el incremento de la urbanización y de los invernáculos.

El análisis de los efectos del CCG se enfocó a los cambios en variables hidrológicas, tanto referidas al nivel del mar (o del Río de La Plata), como el nivel medio de las precipitaciones. Los escenarios de cambios asociados al CCG analizados, para los cuales se han generado escenarios de simulación espacializados, incluyen las siguientes condiciones: situación normal o media; de marea alta; de sudestada media; de sudestada extrema y de crecida histórica. Los resultados indican el incremento en el área

inundada a medida que se incrementa el nivel del RLP, para un evento frecuente (sudestada media) o un evento infrecuente o de muy baja recurrencia, como fue la crecida histórica registrada en la región de 1940.

Los efectos del CC sobre la región son heterogéneos, variando en las causas, procesos y efectos determinantes, dependiendo de la zona (continental o costera) que se trate.

- Los efectos del cambio climático global sobre la región y la transformación tendencial del territorio son similares, pudiendo tener efectos sinérgicos (multiplicativos) sobre la dinámica hídrica regional, especialmente en lo referente al riesgo de incremento de inundaciones por eventos extraordinarios en el sector continental de la región.
- En la zona continental, los efectos asociados al cambio en el uso del suelo serán más importantes que los vinculados al cambio climático, debiendo planificar como medidas preventivas medidas estructurales (limpieza de cauces y cursos, preparar zonas de amortiguación de inundaciones) y medidas no estructurales (normativas de uso del suelo) como medidas preventivas.
- En la zona costera, los efectos asociados al cambio climático serán más evidentes durante eventos extraordinarios (sudestadas), debiendo planificar medidas estructurales (obras de defensa costera) y no estructurales (normativas de uso del suelo) como medidas preventivas para minimizar los mismos. Complementariamente implementar medidas de respuesta (contingencia) frente a inundaciones costeras (sudestadas).

Recomendaciones

Sobre la base de los resultados alcanzados en el estudio (UNLP PITAP, 2012), se han elaborado las siguientes recomendaciones de aplicación en cada una de las zonas identificadas en el área de estudio:

1) Zona continental:

- Limitar el crecimiento y ocupación de zonas potencialmente inundables, especialmente del cauce mismo de los arroyos. Eventualmente debería evaluarse la relocalización de ciertos grupos sociales hacia sector menos riesgosos.
- Asegurar el mantenimiento de los cursos de agua y canales, por medio de la limpieza de los cauces, el desmalezamiento, etc.
- Promover la participación de la población y comunidad local a todo nivel mediante campañas de difusión y sensibilización.
- Promover la creación o el mantenimiento de zonas verdes como resguardo frente a inundaciones (áreas de inundación programada que actúan de amortiguación de la onda de crecida). En estos sectores, puede incluirse infraestructura recreativa, de bajo costo y resistente a la inundación. Estos sectores pueden tener un uso recreativo intensivo, tales como parques urbanos y, simultáneamente, ser zonas de conservación (por ejemplo, el Parque Ecológico de City Bell-Villa Elisa).

2) Zona Costera:

- Incorporar obras costeras que incluyan zonas de parques con infraestructura resistente a la sudestada.
- Limitar ocupación del borde costero y mantener restricciones al uso del suelo en zonas bajas (planicie de inundación de arroyos, bañados, depresiones), potencialmente inundables, evitando los nuevos rellenos en esos sectores.
- Incorporar obras de contención adyacentes a centros poblados o urbanos, mantener la cota de relleno que minimice efecto de inundación por sudestada.

A fin de generar estrategias de adaptación al CCG pueden plantearse medidas para el manejo del territorio de forma tal que contrarresten los efectos que pudiera producir.. Se debería evitar el incremento de la vulnerabilidad humana planificando la ocupación del territorio en sectores de alta vulnerabilidad natural.

Por otro lado, se debería mantener en estado de naturalidad aquellos sectores de mayor vulnerabilidad natural a fin de que amortigüen los efectos del incremento en las amenazas asociadas el CCG. Ambas medidas pueden romper la eventual sinergia potencial entre los efectos previsibles asociados al CCG y la tendencia de transformación del territorio evidenciado en este estudio.

Anexo A

Metodología de procesamiento de información altimétrica

Análisis y validación de la información

Se procesó la información suministrada por la Dirección de Geodesia provincial, consistente en 10 (diez) cartas de la Red de Nivelación de La Plata, Berisso y Ensenada, en los que se puede determinar la ubicación de una serie de ménsulas. En las cartas topográficas, cada ménsula figura con la denominación con la que fue catalogada. El código de catalogación, consiste en una o dos letras, y de tres a cuatro números, con el siguiente formato: LLNNNN, donde:

LL : indica la localidad donde está la ménsula, G : La Plata, BG : Berisso, EG : Ensenada.

NNNN = es el número de ménsula, el que permite asociarlo con su cota, la que fue entregada en forma de planillas Excel.

Se verificaron casi la totalidad de las ménsulas publicadas por Geodesia, se les tomó la altura a la vereda y se determinó una posición aproximada (Latitud y Longitud) para cada ménsula relevada utilizando un navegador GPS. Utilizando las cotas reducidas a la vereda y las coordenadas latitud y longitud obtenidas con GPS se realizó un mapa preliminar con curvas de nivel para detectar eventuales errores groseros. Se completaron los datos para 116 ménsulas encontradas.

Metodología de adquisición de datos GPS, transformación y validación de alturas.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de navegación que provee al usuario una posición y un instante de tiempo (Seeber, 2003). El principio fundamental de este sistema es determinar la posición del receptor (usuario) mediante la posición conocida de los satélites “midiendo” la distancia a los mismos.

Las coordenadas que produce el posicionamiento GPS son tres, latitud, longitud y altura elipsoidal. Como es conocido por los usuarios del sistema, estas coordenadas están referidas a un marco denominado WGS84, no obstante a todos los fines prácticos se puede afirmar que este marco coincide con el ya mencionado POSGAR 07, que es el marco geodésico argentino. No obstante, las alturas elipsoidales no tienen una relación directa con las cotas sobre el nivel medio del mar, lo que en primera instancia descartaría al GPS como una herramienta apropiada para aportar información en el marco de este trabajo. Sin embargo, la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas ha desarrollado una herramienta válida solamente para la Provincia de Buenos Aires que permite recuperar cota sobre el nivel medio del mar a partir de cota elipsoidal.

El tdaGEOBA es una aplicación para la transformación de alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar. El mismo se aplica en la provincia de Buenos Aires y está expresado en el marco POSGAR07 (Perdomo et al, 2011). Para transformar las alturas obtenidas mediante el procesamiento GPS (h) a cotas sobre el nivel medio del mar (H) se utilizó la página de la aplicación tdaGEOBA. <http://geoweb.fcaglp.unlp.edu.ar/tdaGEOBA>.

Sobre esta aplicación es importante señalar algunos aspectos básicos, en primer lugar, que la posición a transformar debe estar en el marco GEOBA (expresión local del marco POSGAR07). Para ello es necesario realizar un posicionamiento relativo (con dos o más equipos GPS trabajando simultáneamente) tomando como base de partida un punto con coordenadas conocidas en dicho marco (un punto de la red GEOBA, red geodésica de la Prov. de Buenos Aires). En segundo lugar, no menos importante, la precisión de la transformación estará asociada principalmente a la precisión del relevamiento GPS. Esto significa que si se utiliza un navegador con precisión 15 m, la transformación tendrá una precisión de 15 m. En general, para obtener buenas alturas elipsoidales es necesario trabajar con equipos geodésicos de simple frecuencia para distancias cortas (dentro de los 20 km) o de doble frecuencia para distancias más largas.

En el marco de este proyecto se utilizó principalmente para validar información de otras fuentes, y agregar datos propios donde sea necesario. Para la validación de las cotas de las ménsulas se procedió de la siguiente manera:

- i. Mediante GPS se obtuvo la altura elipsoidal (h) de una serie de ménsulas.
- ii. Con el modelo tdaGeoba se obtuvo una cota corregida (Hc).
- iii. Se corrigió por desnivel entre el punto GPS y la cota de la vereda, cuando fue necesario

- iv. Se comparó con la cota brindada por la Dirección de Geodesia referida a la vereda (Ho)

Para tal fin se eligieron 6 puntos, ver Tabla A.1

Tabla A.1: Listado de los puntos que fueron medidos y la ménsula a la cual se vincularon

Nombre	Latitud	Longitud	Altura GPS (h)(m)	Vinculación			
				Nombre	Cota (m)	Alt. vereda (m)	Cota Vereda (m)
PT04	34°48'03,9''	57°59'14,9''	18,190	EG317	2,711	0,44	2,271
PT09	34°51'02,5''	57°51'29,8''	18,576	EG258	2,956	0,38	2,576
PT10	34°51'13,2''	57°55'16,0''	18,930	EG270	3,522	0,55	2,972
PT11	34°51'45,7''	57°54'36,2''	18,624	EG250	3,184	0,58	2,604
PT12	34°52'12,7''	57°52'51,0''	18,768	BG234	3,726	0,835	2,891
PT13	34°52'26,7''	57°52'07,2''	18,946	BG242	3,816	0,61	3,206

Todos los puntos utilizados en la comparación se encuentran en la zona costera ya que es en esta región en donde el modelo tdaGEOBA puede presentar alguna inconsistencia debido a la falta de datos. Finalmente se compararon las cotas obtenidas mediante este modelo, corregidas por desnivel, con las cotas provistas por la dirección de Geodesia, trasladadas a la vereda. Se obtuvieron las siguientes diferencias:

PT04 => -0,193 mts.

PT09 => -0,089 mts.

PT10 => -0,129 mts.

PT11 => +0,037 mts.

PT12 => -0,063 mts.

PT13 => -0,164 mts.

Las diferencias no superan los 20 cm, mientras que en el 67 % de los datos la diferencia es menor a los 10 cm. Estadísticamente la media es de $-0,054$ m, con una desviación estándar de $0,072$ m. A los fines de este trabajo resulta satisfactoria la comparación y permite concluir que las cotas de ménsulas, como las obtenidas con GPS y corregidas por el modelo son consistentes a nivel de los 10 centímetros o mejor. Una suposición algo más aventurada permitiría concluir que, dadas las distancias entre estas ménsulas, relativamente pequeñas (centenares de metros a pocos km), un eventual error del modelo tdaGEOBA podría dar cuenta de la diferencia sistemática ($-0,054$ m), pero la desviación estándar ($0,072$ m) seguramente se debe a inconsistencias entre las ménsulas.

Altimetría satelital

El Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) es un proyecto conjunto entre la NASA y el NIMA (Nacional Imagery and Mapping Agency) con el propósito de generar un mapa topográfico a escala global. Se trata de una misión espacial provista de un radar altimétrico. El modelo digital de elevación producido por el SRTM consiste en un grillado de la superficie de la tierra en celdas de $90\text{ m} \times 90\text{ m}$. A cada celda le corresponde una cota, referida al centro de la misma con un error menor, según los autores, a los 16 metros. Este error se debe a que la cota provista está referida al centro de la celda y se calcula haciendo un promedio de las mediciones obtenidas por la misión dentro de cada celda. En zonas con pendientes importantes, urbanas o muy arboladas, efectivamente el error esperable es de varios metros. No obstante, en zonas llanas, donde el resultado de este “promedio” resulta de una integración de datos muy semejantes, la precisión es sorprendentemente mejor.

Para analizar la validez de los datos de SRTM se compararon las cotas de las ménsulas y las que se obtuvieron con GPS mediante la aplicación tdaGEOBA (cinemáticos) con las cotas de los mismos puntos obtenidas mediante la interpolación de los datos del SRTM. Para realizar esta comparación se dividieron los datos en tres grandes grupos:

a) Ménsulas: El grupo más obvio por tener un origen y forma de medición distinta al de los datos GPS

b) Cinemático procesado con base en LPGS: Ya que además de tener una base distinta mayormente fueron tomados en caminos que pasan por zonas urbanas.

c) Cinemático con base en un punto auxiliar SANP: el cual fue tomado por caminos que, mayormente, atraviesan campos.

Las diferencia entre la cotas de las ménsulas con las cotas obtenidas del SRTM son todas negativas lo que indica que la altura provista por el SRTM es mayor. Haciendo un corte en -5 metros para eliminar los datos considerados extremos (“outliers”), obtenemos una media de -2,53 metros. Mientras que la desviación estándar es de 0,95 metros. Como se mencionó la mayoría de los trayectos fueron tomados por calles que se encuentran en las distintas ciudades como son la Av. Bossinga o el camino Ing. Humet en Ensenada; la calle 7, calle 11 y calle 162, en Berisso y calle 1 y Av 32 en La Plata. Por lo que debería esperarse resultados parecidos a los de las ménsulas. En este procesamiento se eligieron caminos que pasan por zonas no pobladas que cruzan campos. Por lo que se espera que la diferencia entre las cotas sea menor que los casos anteriores. En este caso, haciendo el corte en -4 metros y 2 metros, tenemos que el valor medio es de -0,57 metros, esto es lo que se esperaba ya que, como se dijo, la mayoría de caminos pasa por zonas que no presentan ningún tipo de construcción, por lo que el SRTM toma los datos directamente del terreno. Como dato a tener en cuenta se puede decir que los campos linderos tienen una tupida vegetación, mayormente arbustos de mediana altura. Mientras que la desviación estándar es de 1,31 metros.

Luego del análisis de las cotas que se obtienen mediante el SRTM comparándola con tres grupos de datos dando como resultado los parámetros estadísticos que se presentan en la Tabla A.2, en donde se indica la media y la varianza de las diferencias entre Cota – SRTM (en metros). Resulta claro que el SRTM está afectado en zonas de árboles o edificios. Pero es interesante observar que el tramo medido desde la base SANP, el cual presenta mayormente recorridos con un buen horizonte alrededor, presenta la media más pequeña (-0,57 metros).

Tabla A.2: Comparación de los valores provenientes de las fuentes de datos
(diferencias entre Cota – SRTM).

Fuente de datos	Media (metros)	desviación estándar (metros)
Ménsulas	-2,53	0,95
Base LPGS	-2,04	1,26
Base SANP	-0,57	1,31

Se filtraron los datos eliminando todo lo que estaba en zonas urbanas o arboledas, ya que en estas zonas se tenían datos de mejor calidad (ménsulas o perfiles GPS). Por lo que solo se utilizó el SRTM en las zonas despobladas para las cuales se tomaron todos los puntos que tenían una cota entre 0 a 5 metros ya que se consideró que este es un intervalo representativo para los campos y bañados en la zona costera de Berisso y Ensenada. También, y con el fin de densificar los puntos en las zonas de campos que se encuentran en Villa Elvira, Olmos, Abasto, Gonnet y City Bell, se utilizaron los datos del SRTM pero en un intervalo de cotas entre 5 y 24 metros, dependiendo de la zona.

Una vez seleccionados los criterios, zonas y valores, para la utilización del SRTM se realizó un nuevo procesamiento cinemático con el fin de compararlo con los valores del pre-modelo que incluía al SRTM. Para este nuevo cinemático se eligieron caminos que estén a nivel del suelo y pasen por zonas despobladas y libres de vegetación. Los resultados de estas comparaciones son satisfactorias, ya que la mayor parte de los puntos tuvieron diferencias menores al medio metro. Estadísticamente tenemos que de un total de 1.992 puntos que se utilizaron en la comparación, 550 tienen una diferencia entre $[-0,2; 0,2]$ metros, esto representa un 27,6 %. Mientras que un total de 776 puntos tienen una diferencia de entre 0,2 y 0,5 metros en valor absoluto, es decir el 39 % de los datos. Considerando ambas clases resulta que un 67% de los puntos de validación muestra que el SRTM es mejor que 0,5 m. Vale aclarar que el resto de los puntos no supera el metro de diferencia.

El Modelo de Elevación Digital final

Las diferencias entre la cota de las ménsulas y la del GPS + modelo tdaGEOBA obtenidas de la vinculación, permiten suponer que ambos sistemas de datos son consistentes a nivel de los 10 centímetros (con picos próximos a los 20 cm). Esta comparación también permite suponer que el sistema de datos de las ménsulas es homogéneo, es decir todas las ménsulas tienen un origen en común y coincidente con la red altimétrica del IGN. Por lo tanto podemos utilizar los datos de las mismas para la confección del modelo de alturas de la región urbana donde se encuentran emplazadas. Cabe mencionar que estos puntos fueron tomados en la zona costera, en donde el modelo tdaGeoba puede presentar alguna deficiencia, pero se ha probado la consistencia entre ambos conjuntos de datos, la que además es mejor a medida que se alejase de la costa. Por lo que también se pueden utilizar los datos obtenidos mediante procesamiento GPS para realizar el modelo de alturas. Con respecto a los datos obtenidos del SRTM se puede confirmar que su utilización requiere siempre un análisis detallado que permita validar su precisión según la zona de trabajo. Para utilizarlo en el modelo presentado en este trabajo, se utilizaron los datos en las zonas despobladas haciendo los recortes mencionados con anterioridad.

Para el armado del modelo final se utilizaron:

- 116 ménsulas con cotas obtenidas de la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires, trasladadas al nivel de la vereda.
- Trayectos cinemáticos obtenidos con GPS con cota obtenida mediante el modelo tdaGEOBA sobre caminos a nivel del terreno natural.
- Puntos sobre la playa obtenidos mediante la técnica GPS “Stop and Go”
- Cotas obtenidas del SRTM filtrado en las zonas despejadas y despobladas en donde no existían datos.

Para realizar el modelo final se utilizaron 8.670 puntos, los cuales fueron procesados por el “Golden Software Surfer7”. Con este programa se confeccionó una grilla equiespaciada mediante el método de interpolación Kriging puntual, utilizando un modelo de semivariograma lineal.

Bibliografía

Auge, M. (2005). Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires. Relatorio del *XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata. Cap. XVIII:293 – 312.

Balay, M.A. (1961). *El Río de la Plata entre la Atmósfera y el Mar*. Servicio de Hidrografía Naval. Publicación H-621, Buenos Aires, 153 p.

Barros, V.R., Castañeda, M.E., Doyle, M.E. (2000). Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: an indication of climatic variability. In: *Smolka, P.P., Volkheimer, W.* (Eds.): *Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates*. Springer, Berlin: 187-206.

Brooks, B.A., Merrifield, M.A., Foster, J., Werner, C.L., Gomez, F., Bevis M., Gill, S. (2007) Space geodetic determination of spatial variability in relative sea level change, Los Angeles basin. *Geophysical Research Letters*, 34, L01611, doi:10.1029/2006GL028171

Busso, G. (2001). Vulnerabilidad social: Nociones e implicancias de políticas para Latinoamérica a inicios del siglo XXI. En *CELADE: Seminario Internacional*. Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe.

Camilloni, I. (2005). *Tendencias climáticas*. En: Barros, V., Menéndez, A., Nagy, G. (Eds.), *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Capítulo 2: 13-19. CIMA-CONICET, Buenos Aires.

Campetella, C.M., D'Onofrio, E., Cerne, S.B., Fiore, M.E., Possia, N.E. (2007). Negative storm surges in the Port of Buenos Aires. *International Journal of Climatology*, 27: 1091-1101.

Carbognin, L., Teatini, P., Tosi, L., Strozzi, T., Tomasin, A. (2011). *Present relative sea level rise in the Northern Adriatic coastal area*. In: Brugnoli, E., Cavarretta, G., Mazzola, S., Trincardi, F., Ravaioli, M., Santoleri, R. (Eds.) *Marine Research at CNR, Coastal and Marine Spatial Planning*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento Terra e Ambiente, 1147-1162, available at: <http://www.dta.cnr.it/content/view/7204/304/lang,en>

CEPAL/PNUD (2001). El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América latina. *Serie Estudios estadísticos y prospectivos*. CEPAL ECLAC (UN) N° 7. Santiago de Chile. Chile.

CHBA, 1998. *Censo Hortícola de la Provincia de Buenos Aires*. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Prov. de Buenos Aires, INDEC y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

CHFBA, 2005. *Censo Hortiflorícola de la Provincia de Buenos Aires*. Subsecretaría de Coordinación Económica. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. Disponible en <http://www.ec.gba.gov.ar/estadistica/chfba/censohort.htm>

Con, M.; S. Susini; S. Catalá y S. Quinteros (2001). *Indice de vulnerabilidad social (IVS)*: Documento metodológico. Informes temáticos de la Dirección de Investigación y estadística. Ministerio de Educación, GCBA.. 12 p.

D'Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E. (2002). Influencia de los caudales aportados por los ríos Paraná y Uruguay en el nivel medio del puerto de Buenos Aires. *Report for the project: Assessment of Impacts and Adaptations to Climate Change*. A Global Environment. Facility project implemented by the United Nations Environment Program. *Informe Técnico No. 06/02*. Buenos Aires: Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval. 7. p.

D'Onofrio, E.E.; Fiore, M.M.E., Romero, S.I. (1999). Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental Shelf Research*, 19: 1681-1693.

D'Onofrio, E.E.; Fiore, M.M.E., Valladares, J.A. (2002). Mareas e inundaciones en la ciudad de Buenos Aires. *Ciencia Hoy*, 12(67): 38-45.

Deluchi M., Carol E., Mancuso M., Kruse E., Laurencena P., Rojo A. (2011). Evolución hidrológica en un área urbanizada con explotación de agua subterránea. *VII Congreso Argentino de Hidrogeología*, Salta. En: *Hidrogeología Regional y Exploración Hidrogeológica*. p. 166 – 173. ISBN: 978-987-23936-9-4.

Frediani, J. C. (2009). Las nuevas periferias en el proceso de expansión urbana. El caso del partido de La Plata. *Geograficando*. 5, (5). 103-125 pp. Consultado en Septiembre de 2012. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4445/pr.4445.pdf

Frediani, J. C. y C.Matti. (2006). Transformaciones urbanas en el partido de La Plata desde los años '90. ¿Hacia un modelo de ciudad compacta o difusa?. *Geograficando*. 2 (2). 179-199 pp. Consultado en Agosto de 2012. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.359/pr.359.pdf.

García, M. (2011). El cinturón hortícola platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política. *Theomai* N° 23. Buenos Aires. 19 pp.

Gaspari, F. J., Senisterra, G. E.; Delgado M. I.; Rodríguez Vagaría. A. M. y S. I. Besteiro. (2009). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Ed Gaspari. La Plata. 321 pp.

GIRSU (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Ministro de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ar/>

Golovanevsky, L. (2007). Vulnerabilidad social: una propuesta para su medición en Argentina. *Revista de Economía y Estadística*, IEyF, FCE, UNC, R. Argentina. Vol. 45 (2): 53-94.

Hurtado, M. A.; Giménez, J. E. y M. G. Cabral. (2006). *Análisis ambiental del partido de La Plata: Aportes al ordenamiento territorial*. 1ª ed. Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. 134 p.

Imbellone, P. y A. Cumba. (2003). Una sucesión con paleosuelos superpuestos del Pleistoceno Medio-Tardío, Holoceno. Zona sur de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Asociación Argentina de Sedimentología*. Revista 10:3-21.

INDEC (2011). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Disponible en <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>.

Linsley, R.; Kohler, M. y J. Paulhus. (1993). *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. México. 386 p.

Pintos, P. (1993). Aproximaciones teóricas acerca de los procesos de periurbanización. En *Primeras Jornadas Platenses de Geografía*. Tomo II. La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. pp 386-395

Rodríguez Vagaría, A. y F. Gaspari. (2010). GeoQ: Herramienta para la determinación del número de curva y escurrimiento bajo entorno S.I.G. Idrisi Andes®. *International Review of Geographical Information Science and Technology. GeoFocus España.* N°10. 11-26 pp.

Rodríguez Vagaría, A; Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M. I.; y S. Besteiro. (2012). Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ. *Revista de Investigación Venezolana.* Consultado en Agosto de 2012 Disponible en: <http://ria.inta.gov.ar/?p=1981>

Sandoval, V y V. Oyarzun. (2003). Modelamiento y pronóstico espacial del cambio en el uso del suelo. *Quebracho.* 11. Santiago del Estero. Argentina. 9-21 pp.

SAyDS, 2009. El cambio climático en la Argentina. Sitio: www.ambiente.gov.ar; 90 p.

SAyDS, 2013. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación. Manual. Sitio: www.ambiente.gov.ar; 60 p.

Seluchi, M.E., Saulo, A.C. (1998). Possible mechanisms yielding an explosive coastal cyclogenesis over South America: experiments using a limited area model. *Australian Meteorological Magazine*, 47: 309–320.

UNLP – PITAP. (2012). *Efectos del cambio climático en las condiciones ambientales de un sector costero del Río de La Plata.* Informe Final PITAP 2012. Universidad Nacional de La Plata. La Plata. 300 p.

USDA. SCS. Soil Conservation Service. (1964). *Hydrology. Part1. Watershed Planning. Section4. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall.* SCS National Engineering Handbook. US Departmente of Agriculture. USA. 26 p.