

**PLANTEO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS
HIDROLÓGICOS AMBIENTALES EN PINAMAR**

ALUMNA: GIOVENALE VERÓNICA ELISABET

N° LEGAJO: 23999/7

D.N.I.: 28.528.698

Dirección de Correo Electrónico: veronicagiovenale@gmail.com

Teléfono: 02267-15669170

DIRECTORA: Fernanda J. Gaspari

CO-DIRECTOR: Leandro Rodrigues Capítulo

FECHA DE ENTREGA: 02/02/2023

PLANTEO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS HIDROLÓGICOS AMBIENTALES EN PINAMAR

1. INTRODUCCIÓN

Las principales razones del deterioro sufrido en los territorios son el aumento de la población y el consumo excesivo de materias primas y de energía, viéndose afectados los principales recursos naturales: suelo, agua, aire, vegetación, fauna, ecosistemas (Johnston, 2015).

En lo que respecta al agua en particular, se producen diferentes fenómenos tales como su consumo masivo, descarga de acuíferos, gestión incorrecta del agua, alteración de drenajes y del régimen de caudales, alteración y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Con el crecimiento desordenado y acelerado de las ciudades, las áreas de riesgo considerables como lo son las terrazas inundables fueron ocupadas, trayendo muchos perjuicios humanos y materiales (Tucci, 2007).

Estas problemáticas deben ser consideradas y tenidas en cuenta, por ser el agua un recurso indispensable para la vida. Su óptimo manejo y gestión permitirá a la población que vive en cada una de las cuencas hidrográficas, que conforman los cursos de agua, contar con el recurso haciendo un uso sustentable del mismo, es decir, asegurando su permanencia tanto en el presente como en el futuro.

Por ello, investigar sobre la dinámica hídrica superficial en las áreas que han ido cambiando producto de los procesos de urbanización en las zonas costeras, es de mucho interés para la sociedad local y regional de un determinado lugar.

Una de las tareas fundamentales en la gestión del agua de cuencas hidrográficas es la de desarrollar el plan de acción que implique elaborar procedimientos para identificar opciones en gestión de recursos hídricos, y tras seleccionar las mejores, implementarlas (Asociación Mundial para el Agua y Red Internacional de Organismos de Cuenca, 2009) para que permitan el desarrollo urbano y productivo, sin transgredir el ambiente.

La urbanización es un proceso territorial y socioeconómico que induce una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo (Weber y Puissant, 2003), el cual se encontraba ocupado en general por paisajes naturales o estaba dedicado a actividades agropecuarias. Constituye el proceso que mayores cambios produce en el medio ambiente (Pascual Aguilar et al, 2006; Catalán et al, 2008; Batisani & Yarnal, 2009) y en el funcionamiento de los ecosistemas y, por lo tanto, está íntimamente ligado

al incremento de los problemas ambientales y de los riesgos a fenómenos naturales (López et al, 2001). La urbanización acelerada cambia la estructura de las ciudades y afecta su climatología y la de su área circundante (Tang et al, 2008; Merlotto et al, 2012). Desde el desarrollo de las grandes civilizaciones, el hombre se ha asentado preferentemente en áreas fluviales y costeras debido a la gran disponibilidad de recursos naturales y, por lo tanto, del aprovechamiento económico que podía efectuarse en las mismas. En el año 1995, el 39% de la población mundial vivía a una distancia menor a 100 km de la costa y diversos estudios sugieren que la población costera aumenta a un ritmo mayor que la de otras regiones (Crawford, 2007). Las áreas costeras se ven afectadas, por consiguiente, por el constante crecimiento de las ciudades asentadas sobre ellas y por el desarrollo de las actividades del hombre, ya sean productivas, industriales, turísticas o comerciales. Además de desarrollarse problemas ambientales propios de la mayor parte de los centros urbanos en las áreas costeras, se manifiestan otros problemas como la contaminación por descarga de aguas residuales (Ortiz Lozano et al, 2005), alteraciones en los nutrientes y eutrofización en estuarios y costas abiertas (Dennison, 2008), efectos negativos sobre la biodiversidad y hábitats acuáticos, entre otros (Gillies et al, 2003; Xie et al, 2010; Merlotto et al, 2012).

2. MARCO CONCEPTUAL

El análisis, síntesis y evaluación integral del territorio, permiten establecer escenarios concertados que recogen las expectativas, las posibilidades legales, técnicas, económicas y sociales para el desarrollo del territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1998), y sobre las cuales se elabora la propuesta del presente plan de Trabajo Final de Carrera (TFC).

El área de estudio es el partido de Pinamar, provincia de Buenos Aires, Argentina, como se presenta en la Figura 1. Este pertenece al cordón dunoso bonaerense que recorre el litoral marítimo, a lo largo de 180 kilómetros, desde el inicio del mar argentino en Punta Rasa y que culmina en la albufera de Mar Chiquita (Orellano et al, 2003). Según Orellano et al (2003) para el año 2000, la región costera bonaerense presentaba una superficie de 8.900 ha forestadas.

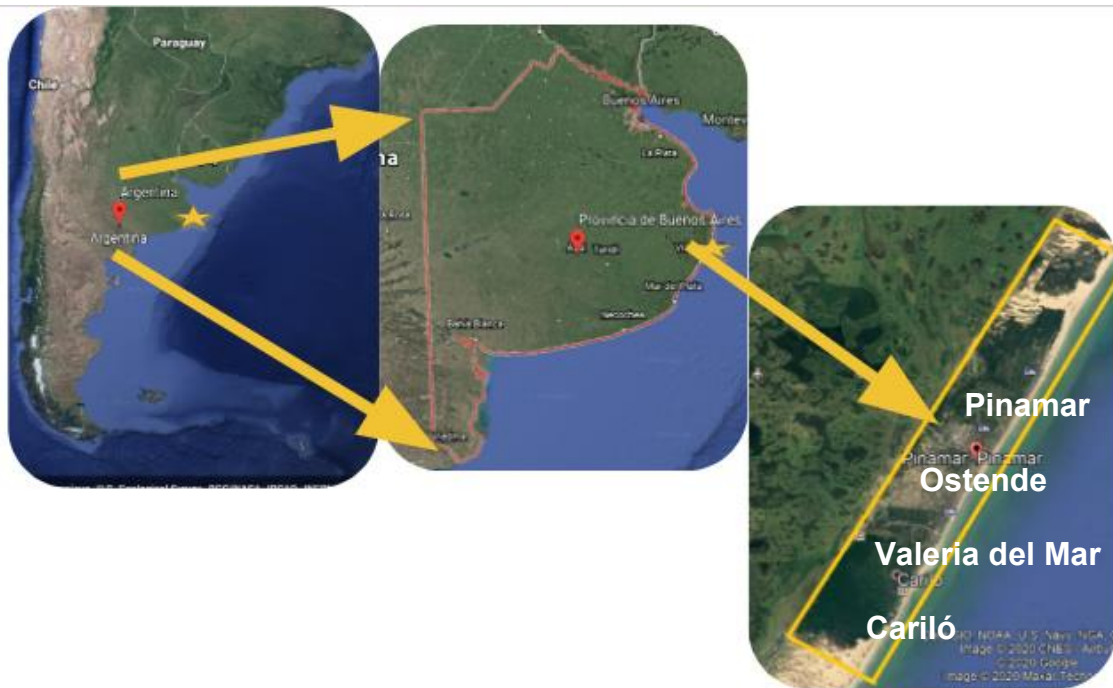


Figura 1. Mapa de localidades del Partido de Pinamar, provincia de Buenos Aires, Argentina. Fuente Google Earth. Elaboración propia.

Al igual que otras localidades de la costa bonaerense, Pinamar ha ido cambiando producto de la antropización que devino en un paisaje urbano. Este proceso se fue dando desde la década de 1940.

Además, en las costas de la provincia de Buenos Aires, la erosión costera es uno de los problemas ambientales más importantes y es causada por la combinación de factores tanto de origen natural como antrópico (Merlotto y Bértola, 2009; Merlotto et al, 2012).

Este cambio de uso del suelo genera una transformación en la dinámica del agua superficial y subterránea debido al cambio en el cubrimiento del suelo, a la eliminación de la cobertura vegetal absorbente y al aumento de la extracción de agua de los acuíferos para riego (Kruse et al, 2012).

La cobertura vegetal tiene como efecto la interceptación de parte de la precipitación que puede generar escurrimiento y la protección del suelo contra la erosión. La pérdida de esta cobertura para uso agrícola ha producido como consecuencia el aumento de la frecuencia de inundaciones debido a la falta de interceptación de la precipitación y a la colmatación de los ríos (Tucci, 2007).

Este tipo de cambio de uso del suelo, en forma conjunta con el movimiento inmobiliario, genera una tendencia a modificar el agua disponible y los excesos hídricos luego de una tormenta (Gaspari et al, 2009). Además, los cambios en el uso de la tierra han repercutido también sobre el caudal fluvial y la calidad del agua. Por consiguiente, la eliminación de la cubierta vegetal y el uso más intenso del suelo han incrementado el escurrimiento durante las tormentas, produciendo erosión hídrica superficial y contaminación de las aguas superficiales.

El uso de modelos de proyección cartográfica aplicados al estudio del cambio en el uso del suelo es relativamente confiable, debido a la eficacia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos, integrados a un sistema de información geográfica (SIG) (Sandoval y Oyarzun, 2004; Senisterra et al, 2014), ya que proporcionan una perspectiva dinámica de la información que permite tomar decisiones tendientes al ordenamiento territorial. Estos modelos se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial que permite: explorar los mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que los ocasionan; proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (Aguayo et al., 2009; Senisterra et al, 2014). Utilizan parámetros simples, que incluyen, por ejemplo, la extensión y desarrollo de áreas urbanas, expansión de la frontera agrícola, vías de transporte, las condiciones topográficas, existencia de áreas protegidas, zonas de recarga de acuíferos y de drenaje. Esta información se puede incorporar en un mismo mapa, el cual permite visualizar patrones, relaciones y tendencias de los cambios espacio - temporales (Senisterra et al, 2014) del territorio (Montealegre Medina et al, 2020).

La investigación orientada al análisis geoespacial y solución de problemas concretos, como ser el cambio de uso del suelo y su incidencia sobre la dinámica hídrica superficial en cuencas hidrográficas, se trata de actividades complementarias que en muchos casos generan un círculo virtuoso, alimentando con problemas reales el ámbito del aula o el laboratorio.

Los proyectos de manejo de cuencas se generan a partir de la identificación de una amplia gama de problemáticas particulares, como ser la retención del suelo mediante el control de la erosión y aprovechamiento de los suelos, la regulación de las avenidas y su incidencia en la provisión hídrica y la planificación dinámica de las cuencas hidrográficas. Estos objetivos se cumplen mediante diversas actividades técnicas de protección que se pueden agrupar genéricamente por la ordenación de cultivos y el

papel de las cubiertas permanentes, el control del agua vertiente y su incidencia en la atenuación de los procesos erosivos (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

El manejo apropiado de las cuencas brinda beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios, que pueden ser aprovechados por la comunidad regional y/o local.

Particularmente en Pinamar, al igual que otras localidades de la costa bonaerense, presenta servicios como ser uso recreativo y turístico por parte de la comunidad local y regional. Este uso intenso establecido en diferentes estaciones del año y/o en fines de semana puntuales, expresa un alto potencial de degradación por la sobreutilización del recurso suelo-vegetación, generando una gran preocupación e inquietud en la sociedad local y regional, siendo una de ellas la ocurrencia de inundaciones temporales durante eventos pluviales torrenciales, debido al excesivo escurrimiento superficial. Esto es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en el ambiente (Gaspari et al, 2013).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo es plantear un modelo de estrategias para la conservación de los servicios hidrológicos ambientales sobre el territorio, en un contexto de desarrollo sustentable.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos planteados son los siguientes:

- Caracterizar el ambiente identificando las restricciones físicas y las vinculadas al estado de la vegetación y uso del suelo.
- Definir los elementos del comportamiento hidrológico (clima, suelo y geoformas).
- Realizar una modelización hidrológica del estado actual en el área considerada.
- Evaluar el cambio de uso de suelo en los últimos 40 años y su efecto sobre la dinámica hídrica.
- Plantear estrategias para la conservación de los servicios hidrológicos ambientales del área.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Las etapas de desarrollo del TFC fueron:

4.1 Recopilación de antecedentes bibliográficos y cartográficos.

El primer paso para el abordaje de la temática de cambio de uso del suelo fue la recopilación bibliográfica y cartográfica del área de estudio. A través de la misma, se logró un primer acercamiento hacia el entendimiento de problemáticas complejas existentes, con el fin de brindar soluciones para un mejor funcionamiento sustentable. Además, se reunieron diferentes tipos de antecedentes sociales y ambientales sobre estudios en la zona, que ofrecieron información necesaria para el abordaje del proyecto y la realización de una caracterización socio-ambiental del área de estudio.

4.2 Zonificación del uso del suelo aplicando teledetección.

La identificación de diferentes usos del suelo resulta indispensable para establecer relaciones con los procesos hidrológicos-ambientales que se producen en el lugar de estudio, para analizar la evolución de estos cambios (cambio de uso del suelo CUS). Para ello se realizó una zonificación y estudio de parámetros evolutivos poblacionales (con censos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC) y de usos del suelo existentes (por el índice de vegetación normalizado -*Normalized Difference Vegetation Index*-, NDVI), a partir de cartografía con apoyo en SIG, donde quedaron plasmadas las distintas zonas con sus correspondientes usos considerando la evolución espacio temporal de los últimos 40 años. El mapa de transición de la zona ocupada por la urbanización se elaboró mediante el índice de construcción con interpretación de imágenes satelitales y teledetección. El procesamiento de datos satelitales multiespectrales de Landsat 5, 7 y 8, que permitió abordar y evaluar los Índices de diferenciación normalizada de construcciones - *Normalized Difference Built-up Index* NDBI y el NDVI en diferentes escenas temporales entre 1980 y 2020.

La metodología para definir usos del suelo consta de cálculos aritméticos (Zha, Gao y Ni, 2003), aplicando rangos de las bandas roja R, infrarroja IR e infrarroja cercano IRC, según la siguiente secuencia:

- I. Obtención del *NDVI* (Ecuación 1), también denominado índice verde, que permite visualizar las áreas con mayor cobertura vegetal (Chuvieco, 2007; Bhatti et al, 2014).

$$NDVI = \frac{(Banda\ IR)-(Banda\ R)}{(Banda\ IR)+(Banda\ R)} \quad \text{Ecuación 1}$$

- II. Basándose en la alta reflectancia de las áreas acumuladas en el rango de longitud de onda de 1,55 - 1,75 μm (banda TM 5) y su baja reflectancia en el rango de longitud de onda de 0,76 - 0,90 μm (banda TM 4), se calculó el índice de *NDBI* que muestra la proporción de construcción de cada píxel (Zha et al, 2003; Bhatti et al, 2014) (Ecuación 2).

$$NDBI = \frac{(Banda\ IRC)-(Banda\ IR)}{(Banda\ IRC)+(Banda\ IR)} \quad \text{Ecuación 2}$$

- III. Finalmente, las áreas urbanizadas se extrajeron aplicando el índice de construcción *BU* (*Build-up Index*) según la ecuación de He et al. (2010) (Ecuación 3) que representa el área construida que surge de la diferencia de los dos anteriores y muestra que a mayor índice de construcción menor índice de área verde (He et al, 2010; Bhatti et al, 2014). La imagen *BU* demuestra píxeles continuos desde áreas urbanas hasta rurales / desnudas.

$$BU = NDBI - NDVI \quad \text{Ecuación 3}$$

Para visualizar el cambio de *BU* en el periodo estudiado, se aplicó la Tasa de cambio planteada por Senisterra et al (2014).

Se planteó también para la simulación espacio - temporal, realizar el estudio de cambio de uso de suelo entre 1980 – 2020, empleando SIG y posterior verificación a campo. Para este punto se realizó comparación de uso de suelo y análisis de tendencia del *NDVI* para un período comprendido entre el año 2000 y el 2022 con la herramienta web SATVeg que produce el Sistema de Análisis de Vegetación Temporal desarrollada por Embrapa Informática Agropecuária (Brasil), cuyo objetivo es observar los perfiles temporales de los índices vegetativos, que expresan las variaciones de la biomasa vegetal en la superficie terrestre a lo largo del tiempo, ofreciendo apoyo a las actividades de monitoreo agrícola y ambiental. ([SATVeg \(embrapa.br\)](http://SATVeg.embrapa.br)).

4.3 Simulación de la respuesta hidrológica a partir de un modelo de lluvia-escorrentía.

La estimación de la dinámica hídrica superficial en relación con la ocurrencia de las precipitaciones permite cuantificar, evaluar y zonificar la acción degradativa de una tormenta torrencial en Pinamar. El ciclo se inicia cuando comienza a llover, donde una parte del agua precipitada queda retenida en la vegetación, otra inicia el proceso de infiltración y el resto genera escurrimiento. A medida que transcurre la precipitación, el proceso de infiltración tiende a saturar el suelo y el escurrimiento aumenta. De ello se deduce que el escurrimiento se distribuye contemplando sus características particulares, el suelo y cobertura vegetal y/o uso (Gaspari et al, 2013). Para cumplir con el objetivo planteado, se procedió a la cuantificación del escurrimiento superficial, por el método del Número de Curva, del Servicio de Conservación de Suelos (*Soil Conservation Service (SCS), United States Department of Agriculture*). Es un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad según el suelo (Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005; Gaspari et al, 2013). Este método establece complejos suelo-vegetación a los cuales se les asigna un valor, denominado Número de Curva o Número Hidrológico (NC), que define sus condiciones hidrológicas, el cual está adaptado para situaciones diferenciales de sitio, considerando el suelo (Grupo hidrológico (GH)) y la cobertura vegetal y uso.

Para ello, se procedió a la zonificación del tipo de suelo con información de estudios antecedentes y determinación del grupo hidrológico (GH) de suelo. Como la superficie estudiada no es uniforme en cuanto a uso de suelo y/o tipo de cobertura vegetal, se calculó un NC medio ponderado por medio de la Ecuación 4 (Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005; Gaspari et al, 2013).

$$NC_p = 1/A \sum (A_1*NC_1 + A_2*NC_2 + A_3*NC_3 + \dots + A_n*NC_n) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

A: Área total de la cuenca.

A_n: Área del polígono correspondiente al NC_n.

NC_n: Número de curva del polígono

n: Número de polígonos de diferente NC.

Seguido se calcularon las Pérdidas iniciales lo como el producto entre 0,2 y S, siendo S, la retención potencial máxima y surge de la Ecuación 5.

$$S = 254 * ((100/NC) - 1) \quad \text{Ecuación 5}$$

El escurrimiento directo (superficial) Q se calcularon mediante la Ecuación 6.

$$Q = (P - I_0)^2 / (P - I_0 + S) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P: es la precipitación en mm.

I₀: es la abstracción inicial. (=0,2*S)

S: es el máximo potencial de retención de la cuenca ante un evento de tormenta.

La ecuación 7 expresa la cuantificación de la infiltración F.

$$F = S * P - I_0 P - I_0 + S \quad \text{Ecuación 7}$$

Integrando los conceptos anteriores se puede establecer una ecuación básica, en la cual la suma de sus componentes es el total del valor de lluvia precipitada, siendo esta $P = Q + I_0 + F$, que expresa que del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se evapotranspira, otra discurre por la superficie (escurrimiento) y otra penetra en el terreno (infiltración). Con base a conocer la proporción de cada uno, es útil conocer sus respectivos coeficientes porcentuales, como se muestra en la Ecuación 8, siendo el porcentaje total de precipitación P (%) la sumatoria de CE, C₀ y CF (Gaspari et al, 2009; 2013; Montealegre y Gaspari, 2021).

$$CE = Q/P \quad C_{I0} = I_0/P \quad CF = F/P \quad \text{Ecuación 8}$$

Siendo CE el coeficiente de escorrentía; C₀ el coeficiente de abstracciones iniciales y CF el coeficiente de infiltración.

Este procedimiento se aplicó en forma geoespacial con el SIG, para exponer la respuesta hidrológica en Pinamar, para tormentas modales locales.

El procesamiento y análisis de cada mapa de zonificación para el estudio de la dinámica hídrica superficial generado a partir de la textura del suelo y cobertura vegetal, se llevó a cabo con Sistema de Información Geográfica (SIG) procesado con el software QGIS® Buenos Aires.

Para el presente trabajo se utilizó el Método del Número de Curva (NC) para aplicar el GeoQ.

Aplicación de GeoQ

El GeoQ es una herramienta de procesamiento automático geoespacial para el cálculo del escurrimiento superficial, bajo entorno QGIS®, aplicando el NC, que expresa la combinación del grupo hidrológico de suelo según clase textural (GH), los tipos de coberturas o vegetación y/o usos del suelo, según la condición de humedad antecedente del suelo (CHA) (Montealegre y Gaspari, 2021).

Los factores a tener en cuenta en el método NC están relacionados con el tipo de superficie en donde recae la lluvia para generar las variables hidrológicas, debiendo conocer el tipo de suelo y cobertura vegetal y/o uso del suelo (Medina y Gaspari, 2021).

La zonificación del tipo de suelo se realizó con información de estudios antecedentes, entre ellos se dispuso del material de INTA 1989. Posteriormente se procedió a la determinación del grupo hidrológico (GH) a partir de su clase textural.

La información vectorial necesaria como entrada al GeoQ, referida a los GH debe estar codificada según sus atributos y la numeración que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos referidos a la información de suelos según GH

GH	Código
A	1
B	2
C	3
D	4

Fuente: Montealegre y Gaspari, 2021.

Con apoyo en imágenes satelitales y cartografía disponible de ARBA, se realizó la zonificación del uso de suelo y/o vegetación con SIG. Esta zonificación se codificó para la modelización hidrológica con GeoQ.

Conociendo las características texturales del suelo por su GH, y la información del uso del suelo en el área en estudio, es decir la vegetación que sustentan, incluyendo el tratamiento cultural que reciben (Gaspari y Senisterra, 2006), se estableció el NC para la modelación geoespacial, donde cada capa de información vectorial debe estar codificada. Esta codificación fue adaptada para el GeoQ según cartografía antecedente de Cobertura del Suelo de la República Argentina (Volante, 2006), Proyecto PNECO 1643 (INTA, 2009) y de las clases de uso definidas de Vegetación y/o uso del suelo según clasificación Mintegui Aguirre y López Unzú (1990). Los códigos de vegetación fueron establecidos según las tablas elaboradas por Montealegre y Gaspari (2021).

Por último, hay que considerar que la respuesta hidrológica depende de la Condición de Humedad Antecedentes (CHA) del suelo del método de NC, al momento de generarse una precipitación determinada, como se muestra en la Tabla 2 (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Chow et al, 1994; López Cadena de Llano, 1994; Gaspari et al, 2009, 2013).

Tabla 2. CHA en función de la precipitación.

Condición	Humedad antecedente del suelo	Lluvia antecedente de 5 días (mm)
I	Suelo seco	0-12,7
II	Suelo medio	12,7-38,1
III	Suelo húmedo (saturado debido a lluvias antecedentes)	>38,1

Fuente: Montealegre y Gaspari, 2021.

Las tormentas elegidas para la modelización con GeoQ surgieron del análisis del período de tiempo comprendido entre los años 2016 y 2022, obtenidas de la Estación Meteorológica de la Cooperativa Telefónica de Pinamar (Telpin). Se identificaron las que por intensidad o duración podrían generar erosión, es decir las tormentas de 56,7 mm, de 80 mm y de 171,7 mm quedando 3 seleccionadas finalmente. En la Tabla 3, se muestran algunas de las tormentas preseleccionadas.

Tabla 3. Tormentas preseleccionadas y precipitación acumulada en Pinamar.

Fecha de tormenta	Precipitación acumulada (mm)
30/05/2016	58,2
19/01/2017	56,7
05/02/2017	80
21/12/2018	63,5
29/12/2018	67,6
09/01/2019	39,1
17/06/2019	96,0
28/04/2020	40,9
06/01/2021	105,9
12/02/2021	171,7
25/04/2022	74,7

Fuente: Adaptación de datos de la Estación Meteorológica de Telpin.

El geoproceso de GeoQ para la modelización, concatena los valores de GH con vegetación y/o uso del suelo, cuyo resultado es un código el cual será asignado a un valor de NC, y donde, el Código NC, se resuelve como la sumatoria del Código GH y el Código de Vegetación y/o Uso del Suelo. Al definir el NC, aplica las ecuaciones 4 a 8 y genera como resultado un mapa con una tabla descriptiva y de consulta.

A modo general, GeoQ procesa los archivos en formato vectorial de suelos/GH y vegetación y uso del suelo y un valor de precipitación o tormenta predefinido para el área de estudio, expresando como resultado una capa en formato vectorial con una tabla con la información de Q, F e I_o, y los mapas de los coeficientes porcentuales respectivos (Montealegre y Gaspari, 2021).

4.4 Planteo de estrategias de conservación de servicios hidrológicos ecosistémicos.

Para la definición precisa de la estrategia óptima se evaluaron diferentes escenarios con base a la respuesta hidrológica superficial, que permitió visualizar la transformación del área ante dicho planteo, para lograr un manejo adecuado e integral, con los beneficios que ello trae aparejado.

5. RESULTADOS

5.1 Recopilación de antecedentes bibliográficos y cartográficos.

5.1.1 Suelos

Según la Carta de Suelos de la República Argentina del INTA de 1989 ([Carta de Suelos - Serie Punta Médanos \(inta.gov.ar\)](#)) (Anexo 1), el área de estudio se encuentra dentro del dominio edáfico N° 27, el cual se extiende en forma de un cordón paralelo a la costa desde San Clemente del Tuyú hasta la laguna de Mar Chiquita y desde Miramar hasta Punta Alta; llegando hasta la costa marina del partido de Patagones. Los sedimentos originarios de los suelos son arenas de playas marinas, mientras que el paisaje consiste en colonias de dunas costeras. El desarrollo de los suelos depende en gran parte de la estabilidad que presentan las acumulaciones arenosas. Los suelos de la región se dividen en Cuarzipsamientos y Torripsamientos típicos ubicados en las partes más activas, desprovistos de vegetación, mientras que los Haplustoles énticos y arídicos y haplustoles énticos, se encuentran en los sectores más planos y con mayor cobertura vegetal.

De acuerdo a las cartas de suelos INTA "Pinamar" y "Villa Gesell", a escala 1:50.000, los suelos presentes en el Partido de Pinamar corresponden a las unidades cartográficas "PM" y "PM3" (Punta Médanos) pertenecientes al orden de los Entisoles, suborden Psament, Gran Grupo Udipsament, subgrupo Típico. La diferencia entre estas dos radica en la presencia, o no, de vegetación fijadora. Se tratan de suelos arenosos con escaso desarrollo y donde el déficit hídrico no supera los tres meses al año.

Su capacidad de uso es Vles, lo cual se asocia con problemas vinculados a la erosión condicionando su uso para la actividad productiva. El alto contenido de arena es el responsable de una serie de limitaciones como ser la baja capacidad de retención de agua; el bajo contenido de materia orgánica; la baja capacidad de intercambio catiónico; la ausencia de estructura por falta de componentes que agreguen las partículas y por lo tanto una mayor susceptibilidad a la erosión eólica.

La zonificación de los suelos en Pinamar se visualiza en la Figura 2, donde se expresan los siguientes tipos: M (Misceláneas) con una superficie de 1.482,2 ha, PM (Punta Médanos) con una superficie de 2.630,3 ha y PM3 (Punta Médanos 3) con una superficie de 2.463,4 ha.

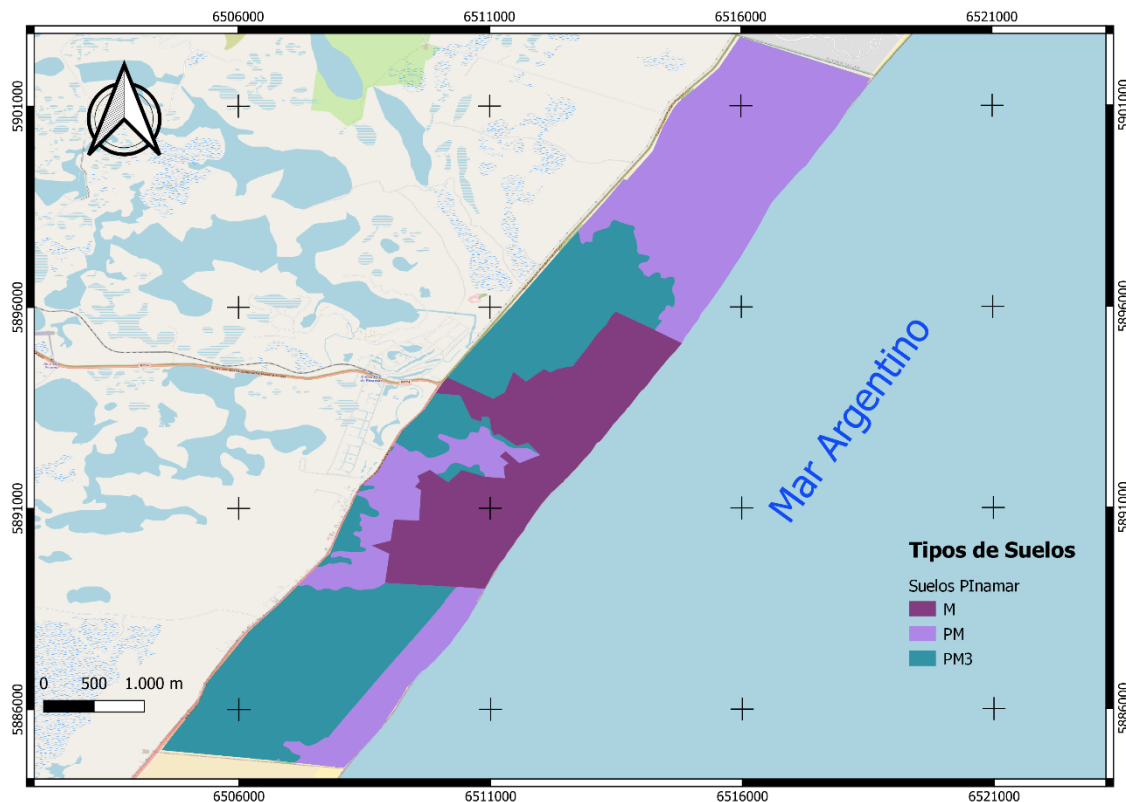


Figura 2. Mapa de suelos de Pinamar. Fuente: Elaboración propia

La clasificación hidrológica de los suelos según el GH se muestra en la Figura 3, considerados según Tabla 1 y asignados a partir de las características del suelo. Resultaron GH A y C para la serie Punta Médanos y Misceláneas, respectivamente.

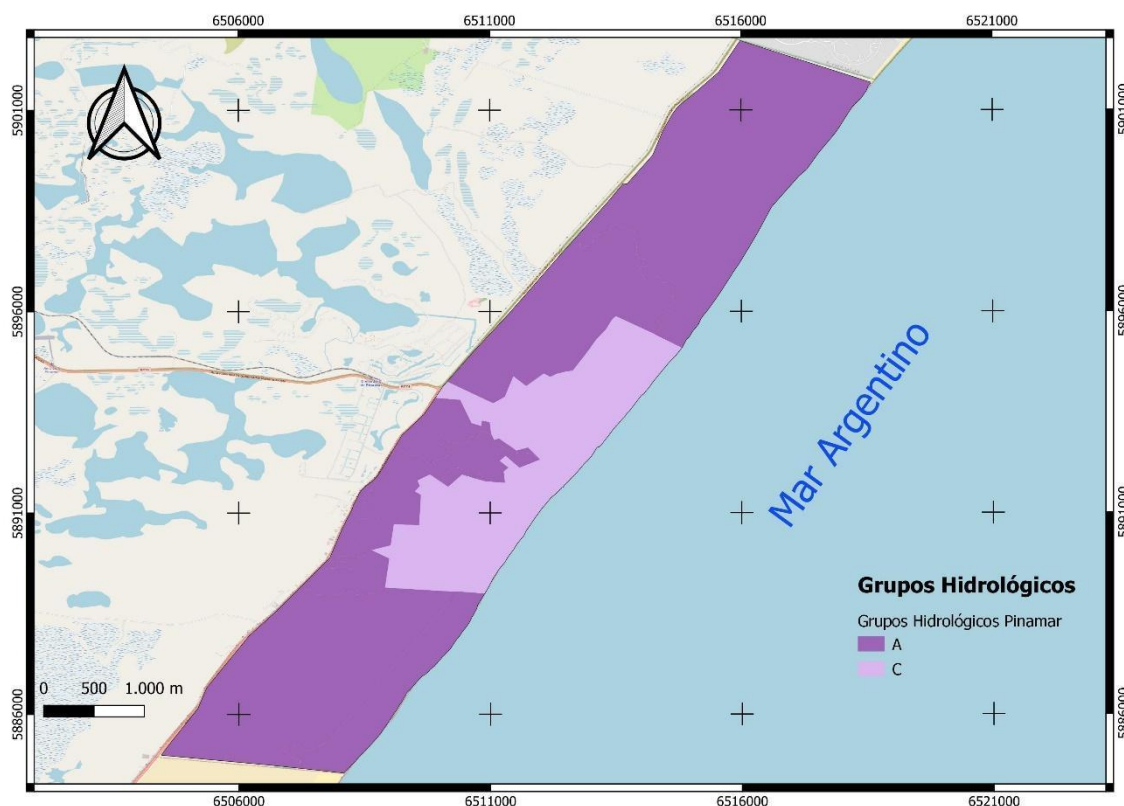


Figura 3. Mapa de Grupos Hidrológicos Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, el 77,5% de la superficie se corresponde al GH A, series PM y PM3, con textura es arenosa, correspondiente a entisoles mientras que en el 22,5% restante, serie M (Misceláneas), se corresponde a la zona miscelánea, siendo GH C.

5.1.2 Uso del suelo

En la Figura 4 se observan los Usos de suelos de la localidad de Pinamar según cartografía ARBA ([urBASig \(gba.gob.ar\)](http://urBASig.gba.gob.ar)), cuyo material se procesó y se adaptó para este TFC, identificando: Áreas naturales desnudas (191,8 ha), Áreas urbanas de alta densidad (10,2 ha), Áreas urbanas de baja densidad (57,1 ha), Áreas urbanas de densidad media (311,5 ha), Áreas urbanas dispersas-semiurbanas (2.161 ha), Bosques abiertos (16,4 ha), Distritos urbanos comerciales (130,3 ha), Dunas, desiertos naturales (498,6 ha), Monte con pasto regular (3195,4 ha) y Superficies no construidas (3,5 ha).

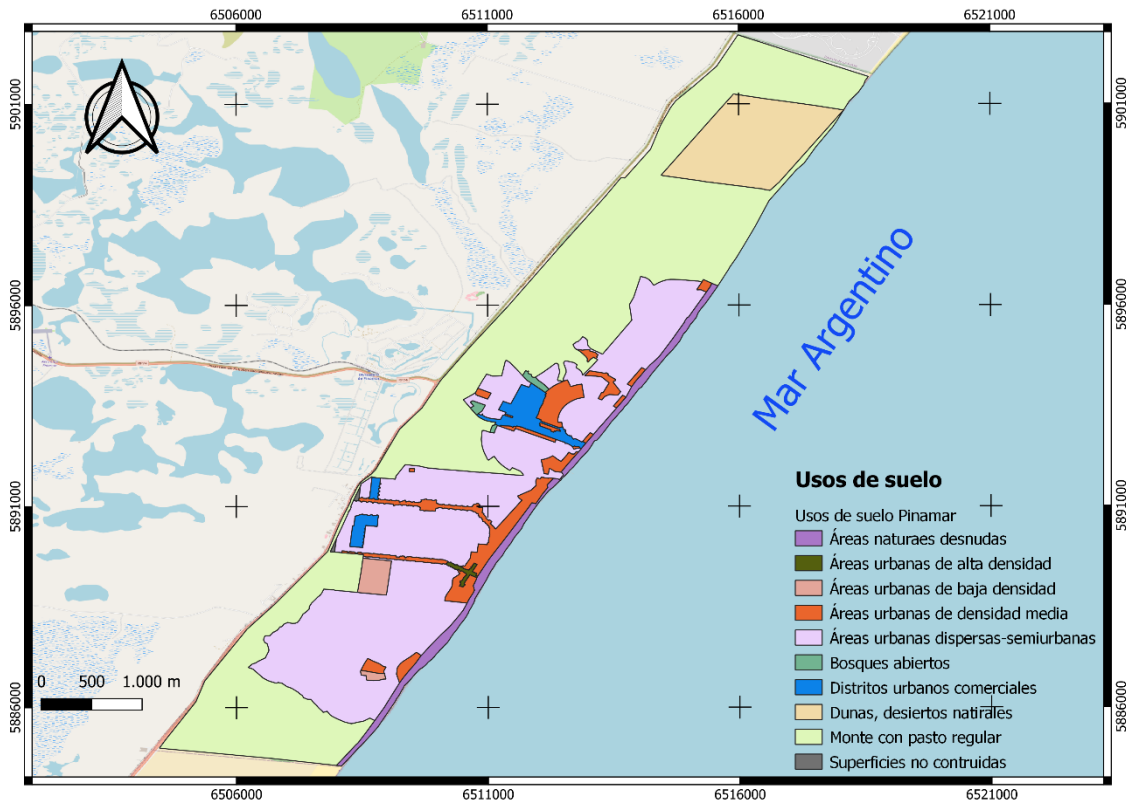


Figura 4: Mapa de usos de suelo de Pinamar. Fuente: Elaboración propia con base de ARBA

El porcentaje de ocupación cuantificada con SIG, de la superficie de Pinamar de los distintos usos de suelo se visualiza en la Figura 5.

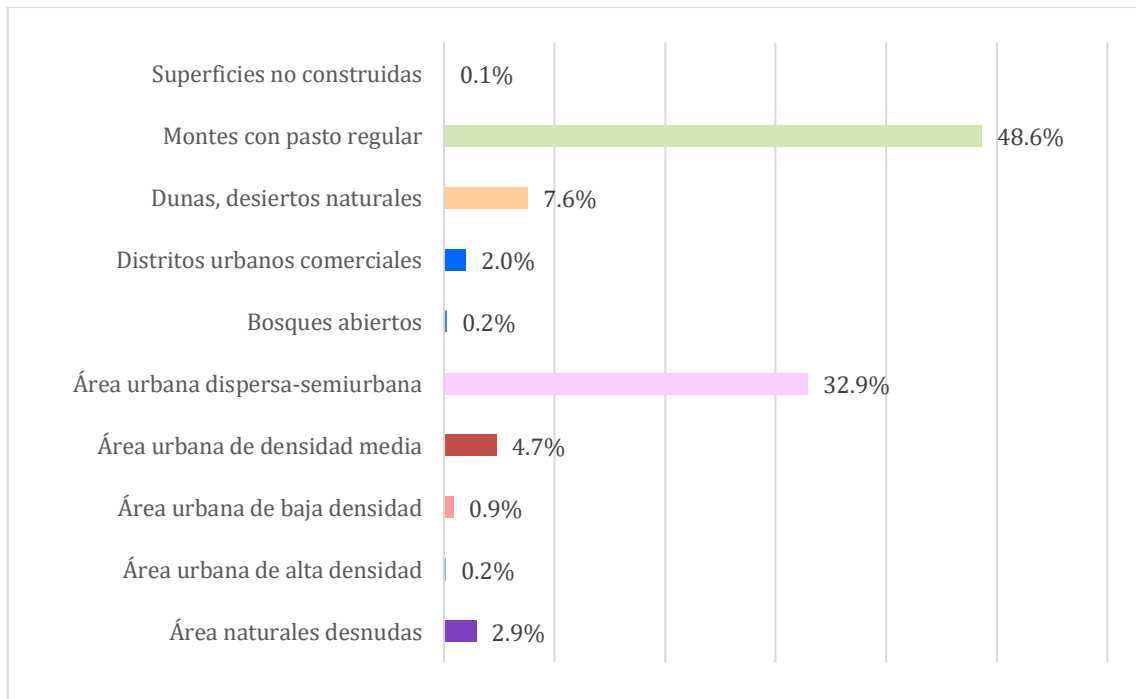


Figura 5. Porcentaje de ocupación de superficie de los Usos de suelo de Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Clima

A partir de datos pluviales obtenidos de la Estación meteorológica de la Cooperativa telefónica de Pinamar de tres tormentas analizadas del 19 de enero del 2017, el 5 de febrero del 2017 y el 12 de febrero del 2021 con una masa de lluvia de 56,7 mm, 80 mm y 171,7 mm respectivamente, se realizaron los hietogramas y curvas de masa de lluvia correspondientes como se observa en las Figuras 6a, 6b y 6c.

Se comparó la agresividad de estos eventos, para lo cual se estableció que la tormenta de menor masa de lluvia presentó mayor intensidad debido a la relación precipitación/tiempo; la tormenta de mayor masa de lluvia duró más tiempo y ese fue el factor que determinó su agresividad.

Las tormentas elegidas para analizar la escorrentía superficial no tienen igual duración por lo que se analizaron en diferentes intervalos de tiempo. La tormenta de 56,7 mm que duró 180 minutos y la de 80 mm que fue de 390 minutos, se analizaron con intervalos de 30 minutos y la tormenta de 171,7 mm duró 590 minutos y el intervalo fue cada hora.

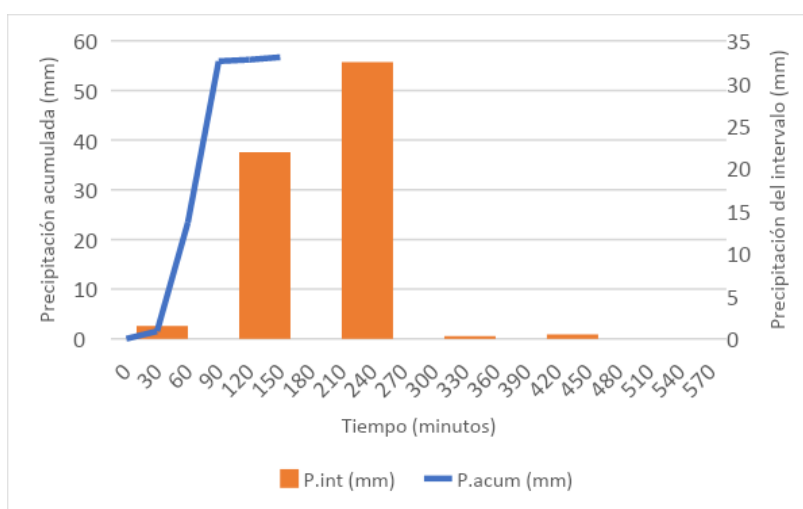


Figura 6a. Hietograma y curva de masa de lluvia de una tormenta 56,7 mm. Fuente: Elaboración propia.

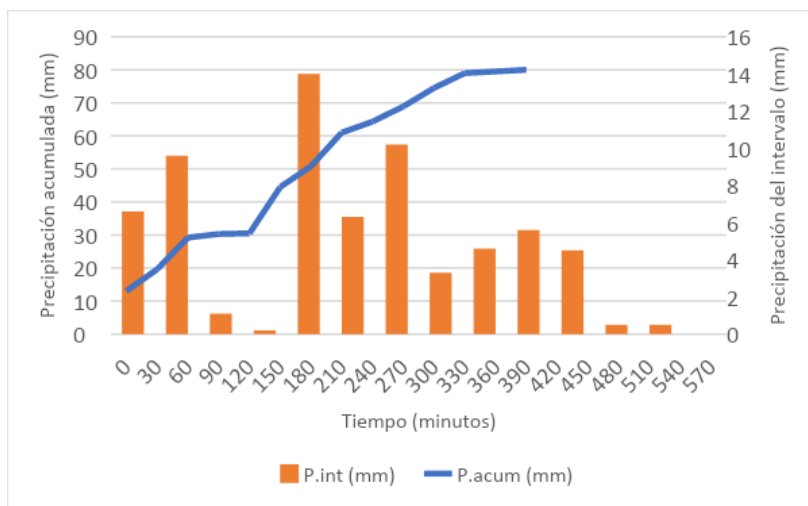


Figura 6b. Hietograma y curva de masa de lluvia de una tormenta de 80 mm. Fuente: Elaboración propia.

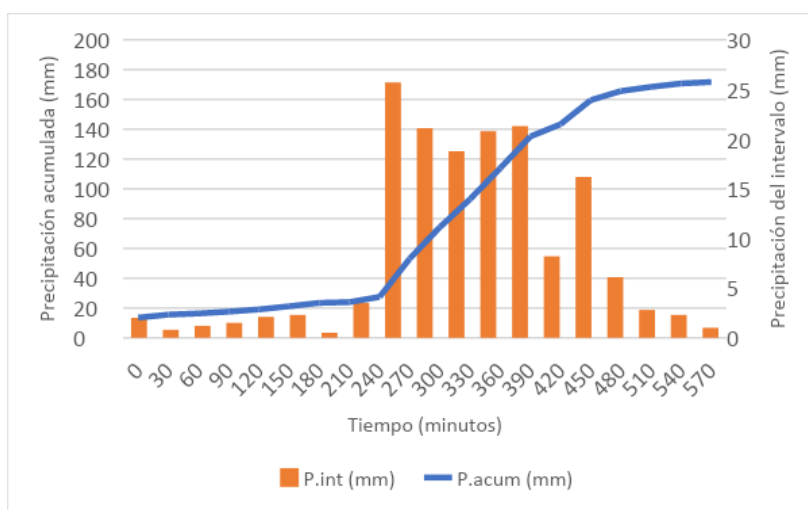


Figura 6c. Hietograma y curva de masa de lluvia de una tormenta de 171,7 mm. Fuente: Elaboración propia.

La tormenta con fecha el 19 de enero del 2017 presentó un valor de intensidad máxima de 32,5 mm, para la del 5 de febrero del 2017, llamada tormenta modal, el valor de intensidad máxima fue de 10,2 mm y la tormenta con fecha 12 de febrero del 2021 tuvo un valor de intensidad máxima de 25,7 mm.

5.2 Zonificación del uso del suelo aplicando teledetección.

5.2.1 Índices espectrales para el uso de suelo

A continuación, se presentan los resultados para los índices *NDVI*, *NDBI* y *BU* para agosto de 1990 (Figura 7, 9, 11) y diciembre de 2021 (Figura 8, 10, 12).

El *NDVI* para agosto 1990 (Figura 7) se obtuvo un valor mínimo de 0,10 en el sector norte de Pinamar, coincidiendo con la zona de presencia de dunas mientras que los valores más altos con un valor máximo de 0,59 se observan en la zona urbana y céntrica, coincidente con las zonas donde se había forestado. Para el 2021 (Figura 8) en la zona urbana y céntrica se encuentran valores bajos con un valor mínimo de 0,40 por presencia del avance de la urbanización (asfalto, construcción) y también valores altos con un máximo de 0,75 mostrando estas áreas con crecimiento vigoroso de la vegetación forestada en anteriores años. Puede observarse en el mapa del año 2021 aumento del área forestada que tiene que ver con las distintas campañas de forestación que se han ido llevado conforme se avanzaban los loteos. Para el caso de Cariló se encuentran valores aún más altos de *NDVI* debido a que es una reserva forestal.

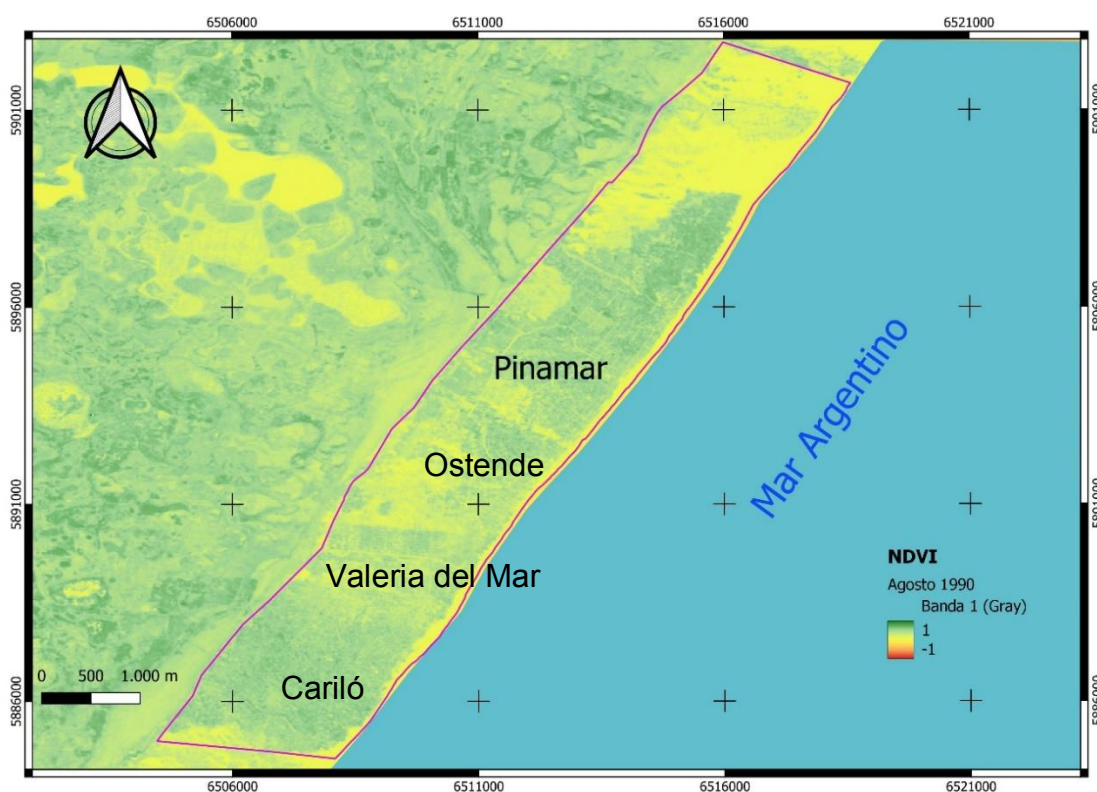


Figura 7. Mapa de NDVI agosto de 1990, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

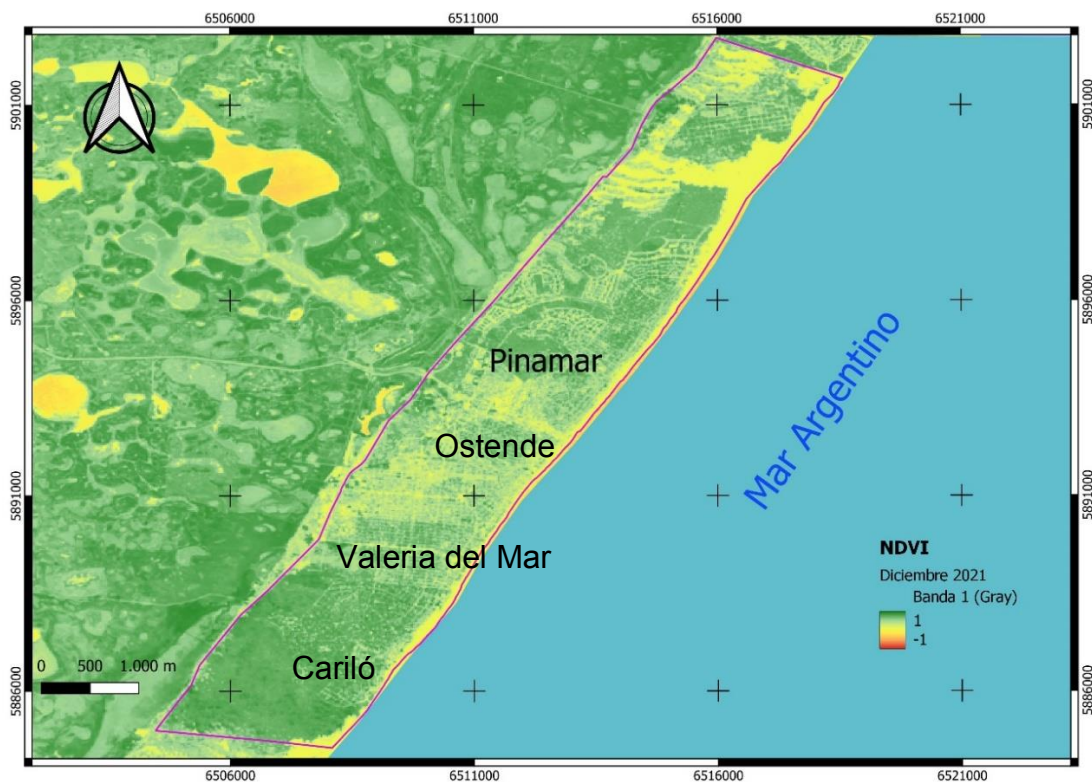


Figura 8. Mapa de NDVI diciembre de 2021, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

El índice de área construida, *NDBI*, tomó valores según la proporción de construcción en cada pixel, donde -1 indica menor proporción de área construida y un valor cercano a 1, mayor proporción de edificaciones. Para 1990 (Figura 9) resultó un valor mínimo de -0,45 indicando ausencia de construcción en el área centro-norte y sur del partido correspondiéndose con áreas de forestación poco edificada y, en la zona Norte y parte correspondiente a Ostende y Valeria del Mar, aún no edificada, alto porcentaje de dunas y baja forestación, se obtuvieron valores entre -0,05 y 0,10. En 2021 (Figura 10), el valor máximo fue de 0,01 que se concentra en la zona de dunas y aquellas densificadas de población, con más construcción, y un valor mínimo de -0,30 coincidentes con aquellas áreas forestadas, que si bien presentan aumento de la urbanización, la forestación se observó más vigorosa. Es importante destacar que el *NDBI* identifica dentro del mismo rango del espectro electromagnético a las áreas de alta urbanización y dunas.

Se identificaron zonas donde se mantiene un porcentaje de forestación que se ha vuelto más vigorosa y ha ido en aumento, respetando el Código de Ordenamiento Urbano de la Municipalidad de Pinamar, que en su inciso 2.4 menciona: (2.4 *FORESTACIÓN Y PARQUIZACIÓN: Se entiende por forestación, la existente o en su defecto la a realizar que debe estar implantada en el momento del Plano Conforme a*

Obra. Ser obligatoria la preservación de la forestación existente, cuando por razones justificadas deba alterarse la misma; quedar a criterio de la Dirección de Ecología y Medio Natural, la tala, poda o reforestación de las especies. Los árboles que por motivo de una excavación para la ejecución de subsuelo se hayan extraído, deberán ser repuestos de acuerdo las normas de preservación forestal) (COU Partido de Pinamar, 2000).

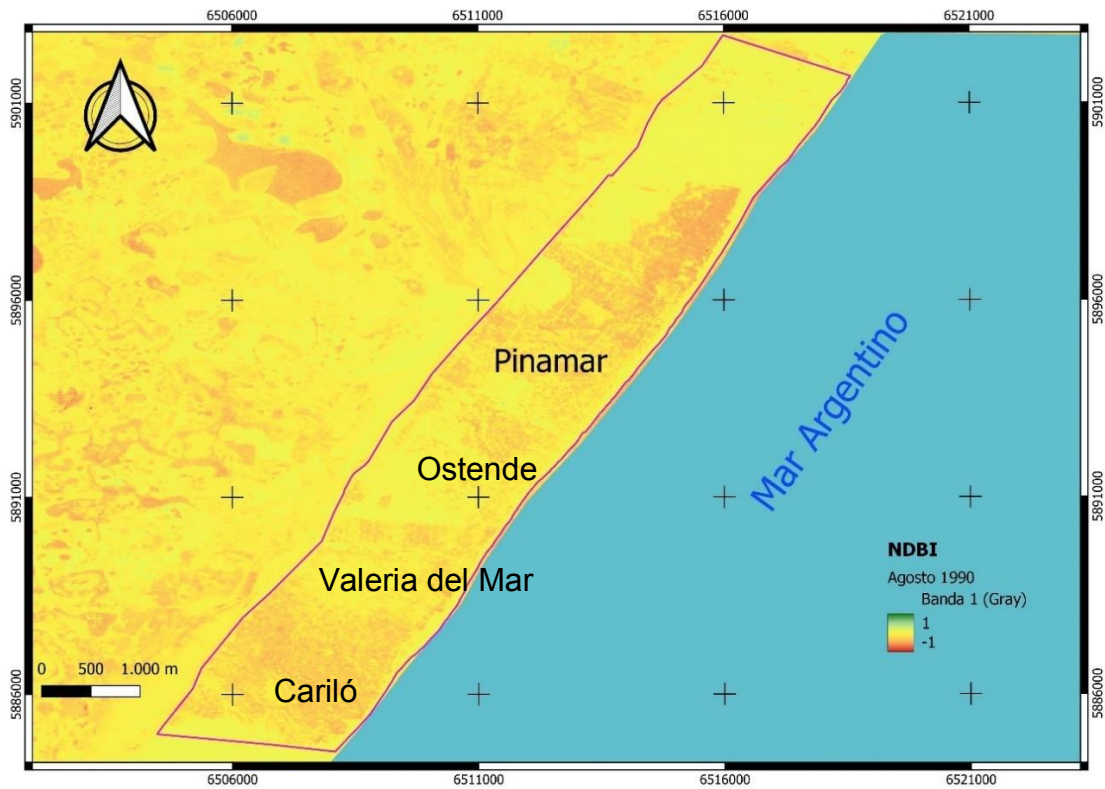


Figura 9. Mapa de *NDBI* agosto 1990, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

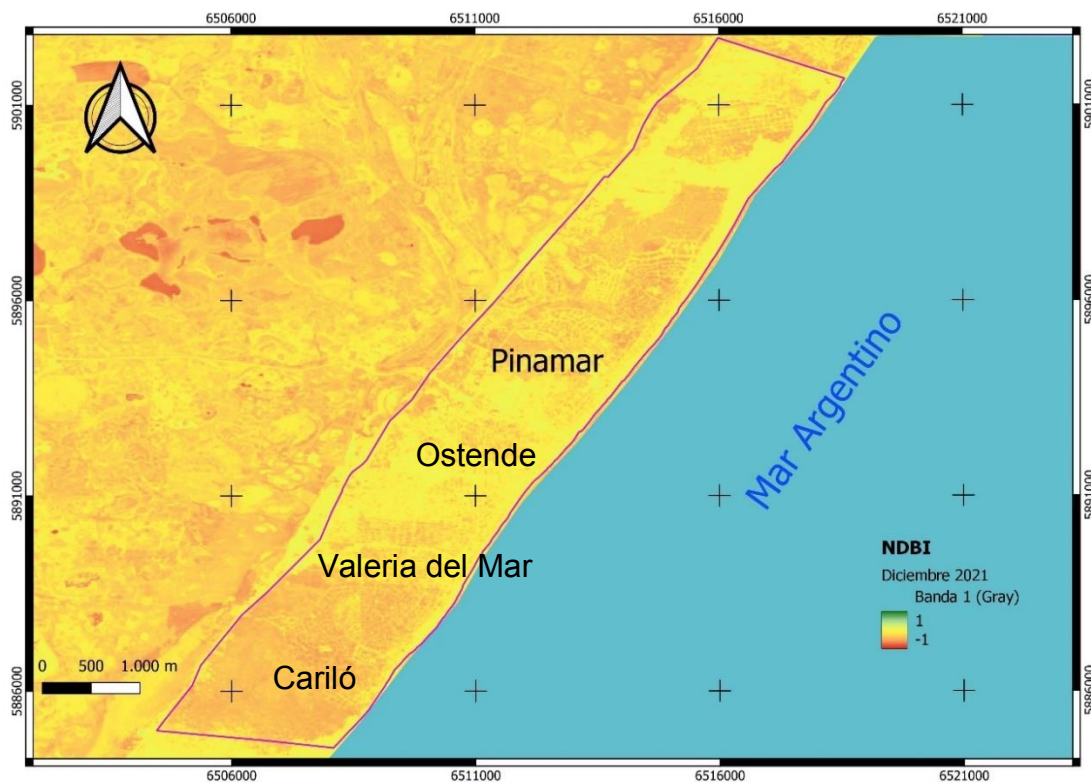


Figura 10. Mapa de *NDBI* diciembre de 2021, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

El *BU* representó distintas proporciones de urbanización, complementándose con el *NDBI*. El mapa de 1990 (Figura 11) presenta un valor máximo de -0,05 en la zona de dunas, norte de Pinamar y algunas áreas de Ostende y Valeria del Mar que, como se mencionó en el *NDBI*, se han visto muy afectadas con el aumento de construcciones y baja forestación a nula. El valor mínimo de *BU* fue de -1 indicando ausencia de construcción o más bien, zonas con más vegetación que en otras. Para el año 2021 (Figura 12), el valor máximo fue de -0,05 y el mínimo de -1, distribuidos de manera similar que, en el mapa del año 1990, aunque se ve mayor proporción de vegetación en las zonas de Cariló y residenciales del norte de Pinamar para el mínimo y, en las zonas céntricas, Ostende y Valeria del Mar el máximo.

Los resultados alcanzados en este estudio permitieron zonificar con teledetección el avance de la urbanización como así también la densificación de áreas forestales por implantación de árboles en áreas urbanas y por parqueización. Este fenómeno se visualiza en la intensidad de la coloración verde y el aumento del área que se presenta en el año 2021 en las zonas de Cariló y residenciales.

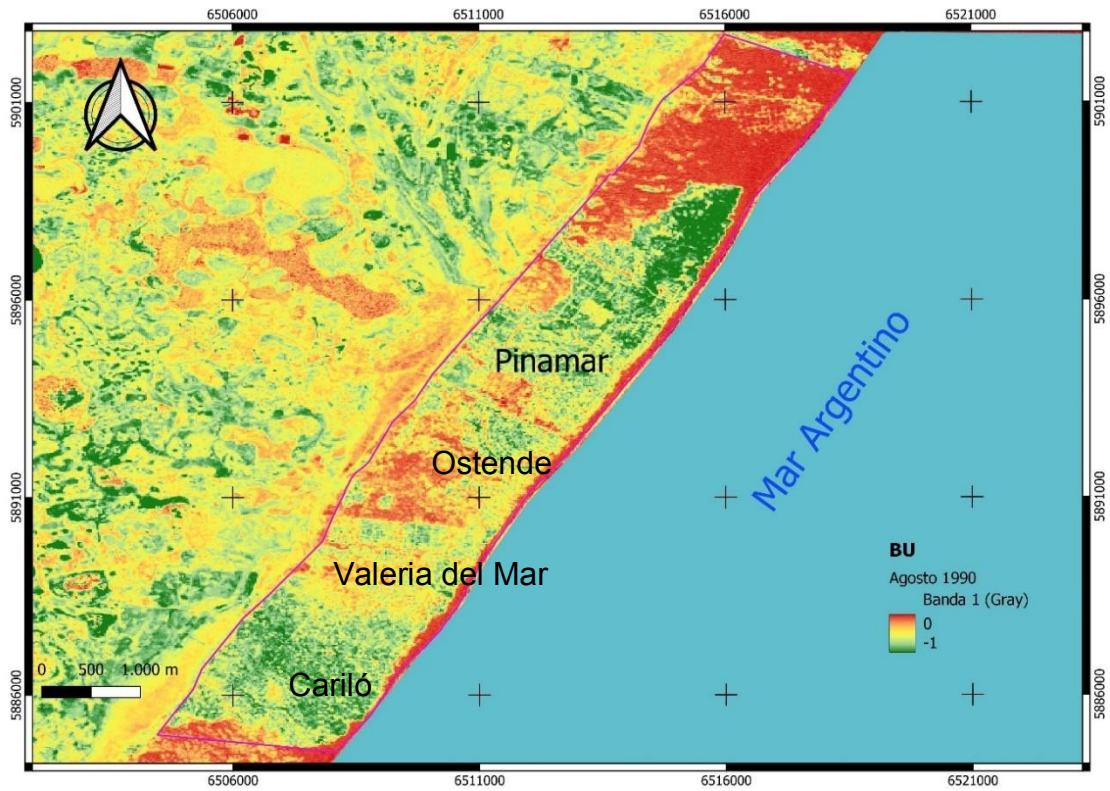


Figura 11. Mapa de BU agosto 1990, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

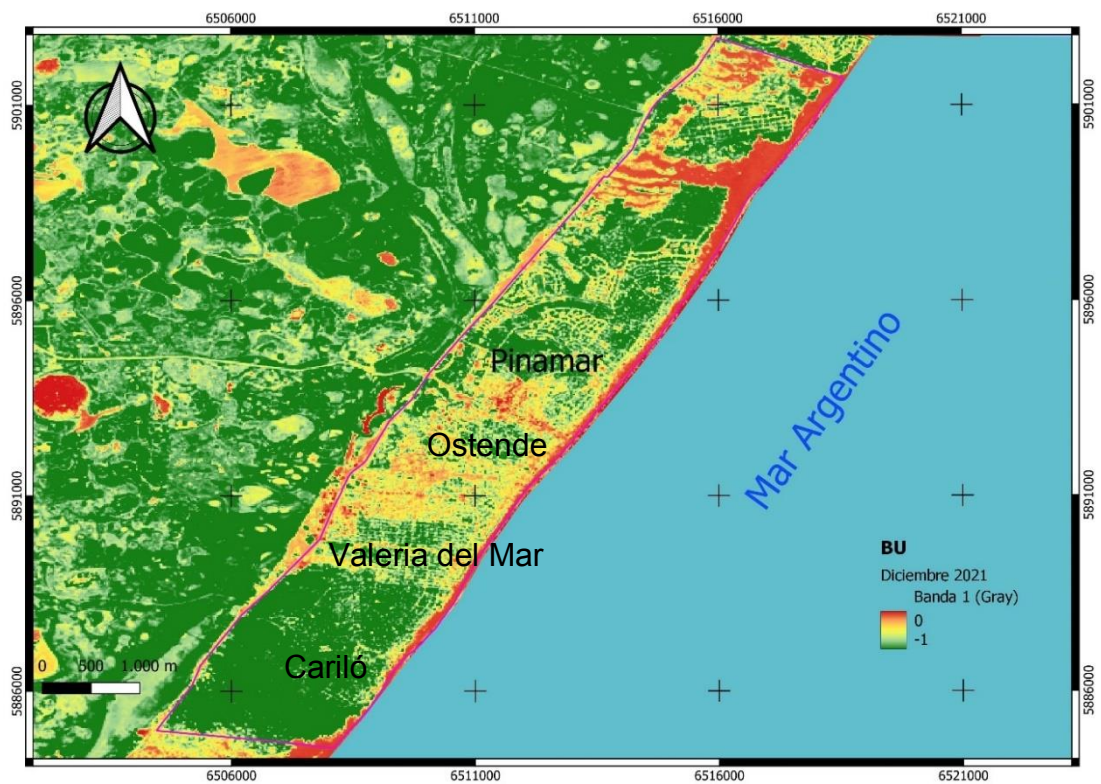


Figura 12. Mapa de BU diciembre 2021, Pinamar. Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Índices espectrales para el uso de suelo automáticos

El estudio comparativo espacio – temporal del *NDVI* también se llevó a cabo con el SATVeg, donde los valores cercanos a 1 expresan mayor verdor y los menores a 0 indican áreas con poca o nula cobertura vegetal. Se consideraron diez zonas de uso del suelo según la zonificación presentada en la Figura 4, que fueron los controles de campo para definir el *NDVI*. Con la aplicación del filtro Savitzky-Golay se realizó el suavizado de datos con el que se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la Figura 13. En esta figura se visualizan las áreas de Montes con pasto y Áreas urbanas dispersas-semiurbanas con valores de *NDVI* entre 0,6 y 0,8. Por debajo están las Áreas urbanas de baja densidad y los Bosques abiertos cuyos valores rondan el rango entre 0,4 y 0,6. Luego se observan las Áreas urbanas de alta densidad, las Áreas urbanas de densidad media y las Superficies no construidas con valores de entre 0,2 y 0,5 de *NDVI*, y por último en la parte inferior se encuentran las Dunas, desiertos naturales y las Áreas naturales desnudas con los mínimos valores, cercanos a -0,2 de *NDVI*.

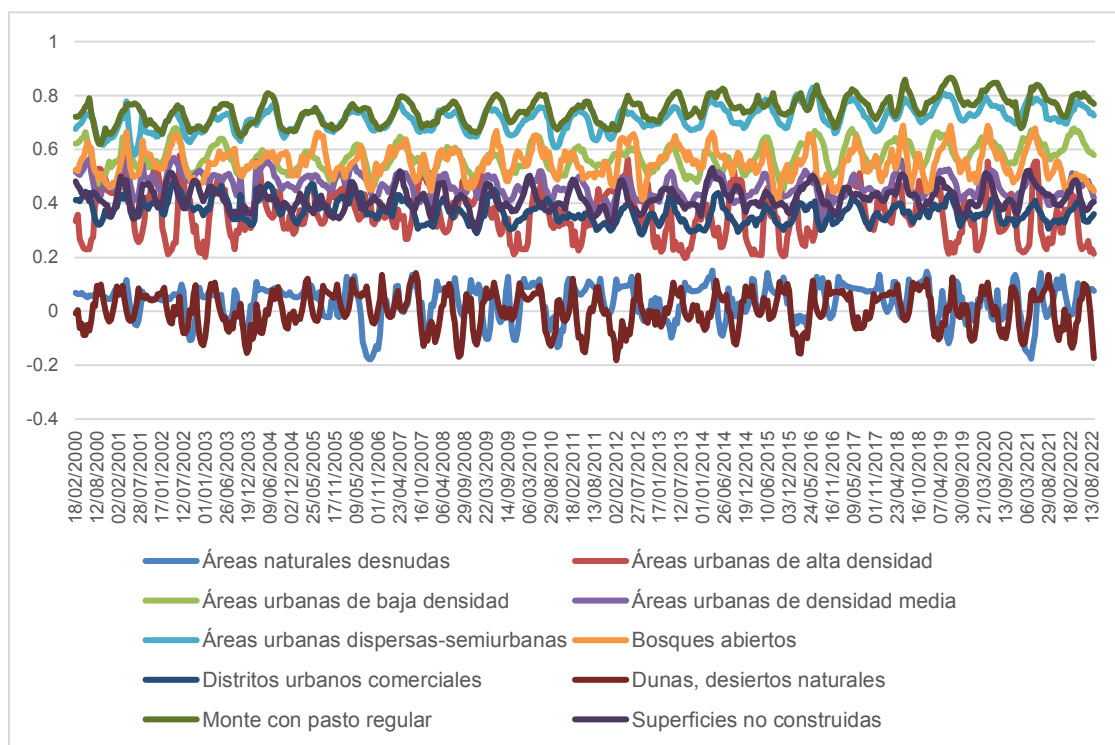


Figura 13. Firmas espectrales del *NDVI* de los usos de suelo de Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se observan las líneas de tendencia que se corresponden con el *NDVI* en el período 2000 al 2022, procesado con Sat-veg. En la figura se visualizan que

Dunas, desiertos naturales y Áreas naturales desnudas se encuentran en la parte inferior del gráfico con una suave pendiente negativa. Las Áreas urbanas de alta densidad, Áreas urbanas de densidad media y las Superficies no construidas se centran en el gráfico y sus líneas son con pendiente negativa algo más pronunciadas. En el centro superior se identifican las líneas de tendencia del *NDVI* de las Áreas urbanas de baja densidad y Bosques abiertos con una pendiente positiva algo pronunciada y, en la parte superior, se observan las líneas de Montes con pasto y Áreas urbanas dispersas-semiurbanas que también presentan pendiente positiva mostrando un aumento en los valores de *NDVI* a lo largo del tiempo considerado.

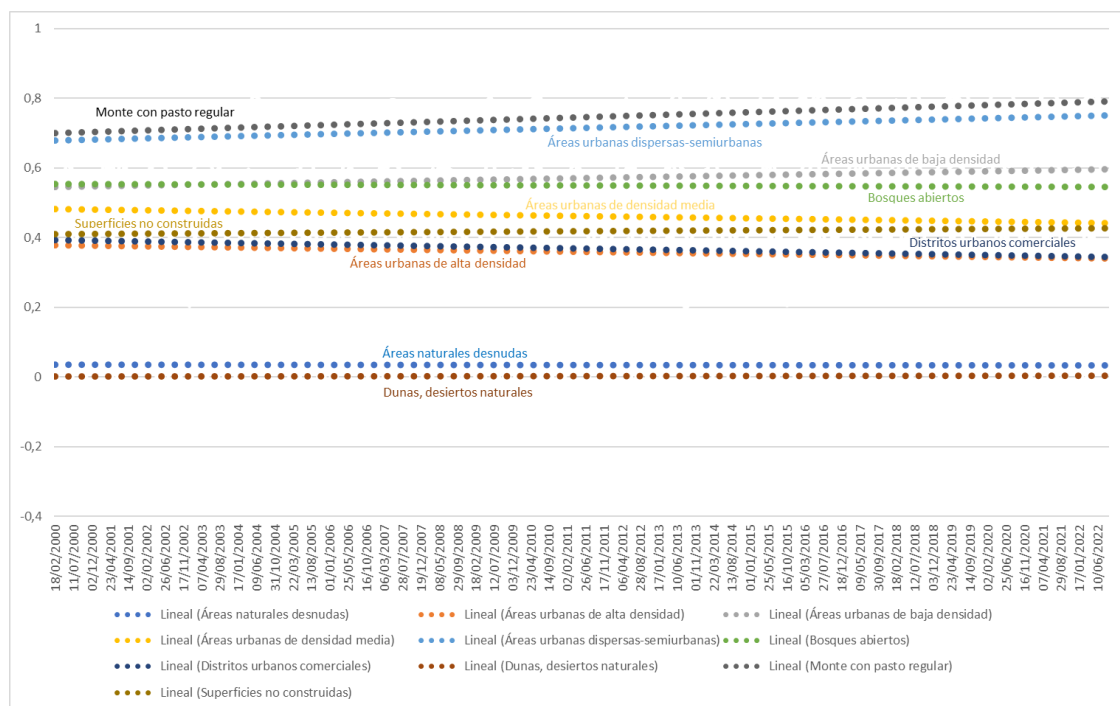


Figura 14. Gráfico de líneas de tendencia del *NDVI* para cada uso de suelo en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

5.3 Simulación de la respuesta hidrológica a partir de un modelo de lluvia-escorrentía.

A partir de los mapas de los grupos hidrológicos, los usos de suelos y/o vegetación se asignaron los códigos para implementar el GeoQ, considerando la condición de humedad antecedente II.

La Tabla 4 muestra los distintos tipos de uso de suelo presentes en el área de estudio y los códigos de vegetación estandarizados de GeoQ, asignados a cada uso.

Tabla 4. Clases de usos de suelo según condición de humedad antecedente.

Descripción categoría según código urbano	Uso de suelo	Código de vegetación GeoQ
Zona de Regulación Especial	Áreas naturales desnudas	10
Zona de Reserva	Monte con pasto regular	240
Esparcimiento / Espacio Verde	Bosques abiertos	270
Residencial de Baja Densidad	Áreas urbanas de baja densidad	380
Residencial de Alta Densidad	Áreas urbanas de alta densidad	390
Uso Específico	Áreas urbanas de densidad media	440
Residencial Mixta	Áreas urbanas dispersas-semiurbanas	450
Zona de Recuperación	Dunas, desiertos naturales	520
Centralidad de Segundo Rango	Distritos urbanos comerciales	560
Zona de Servicio de Ruta	Superficies no construidas	570

Fuente: Adaptación de Montealegre y Gaspari (2021).

Del cruzamiento entre grupos hidrológicos con la cobertura vegetal y/o uso de suelo y aplicando GeoQ, se obtuvieron los NC de la condición de humedad antecedente II, como se muestra su zonificación en la Figura 15.

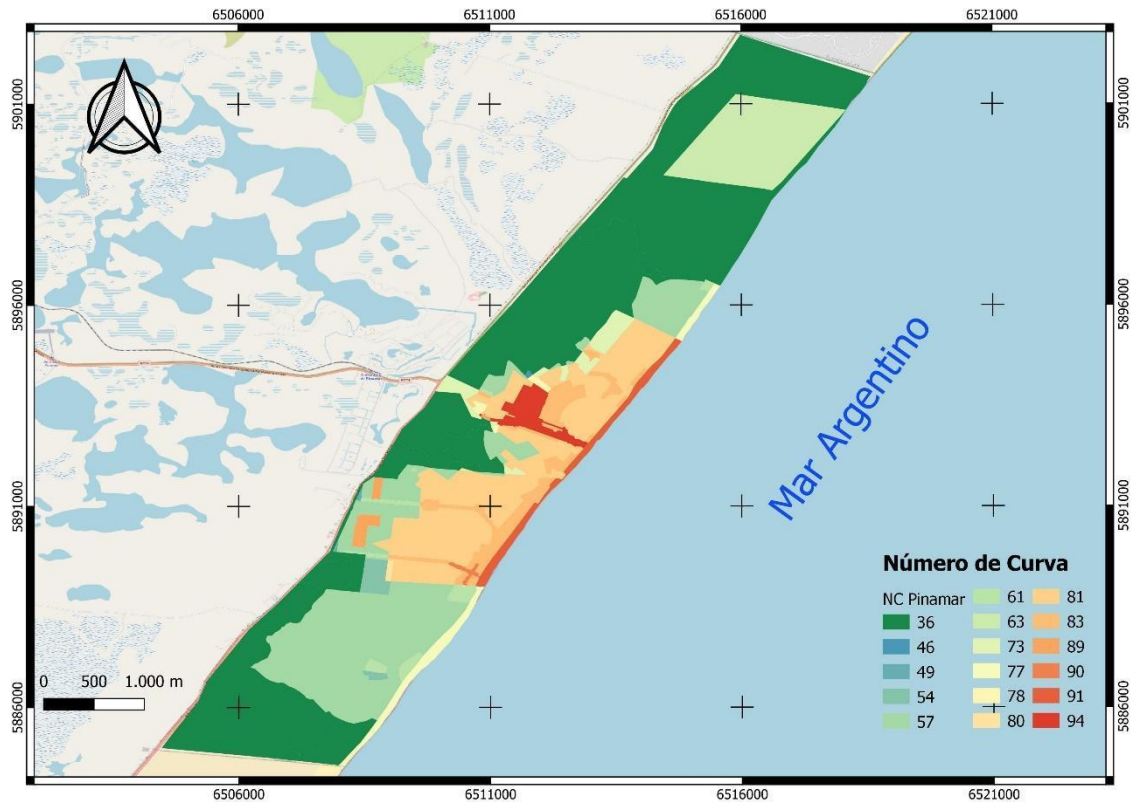


Figura 15. Mapa de NC Condición II para Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

Del total del área estudiada se obtuvo que valores de NC menores a 40 representan la mayor proporción con un 47% de la superficie equivalente a 3.091,33 ha. La proporción que está en un rango de entre 40 y 60 de NC abarca una superficie de 1.303,5 ha, es decir el 20%. En el rango de entre 60 y 80 de NC, 786,92 ha representado un 12% y en un rango mayor a 80 de NC, 1.394,01 ha representan un 21%, que se puede observar en la Figura 16.

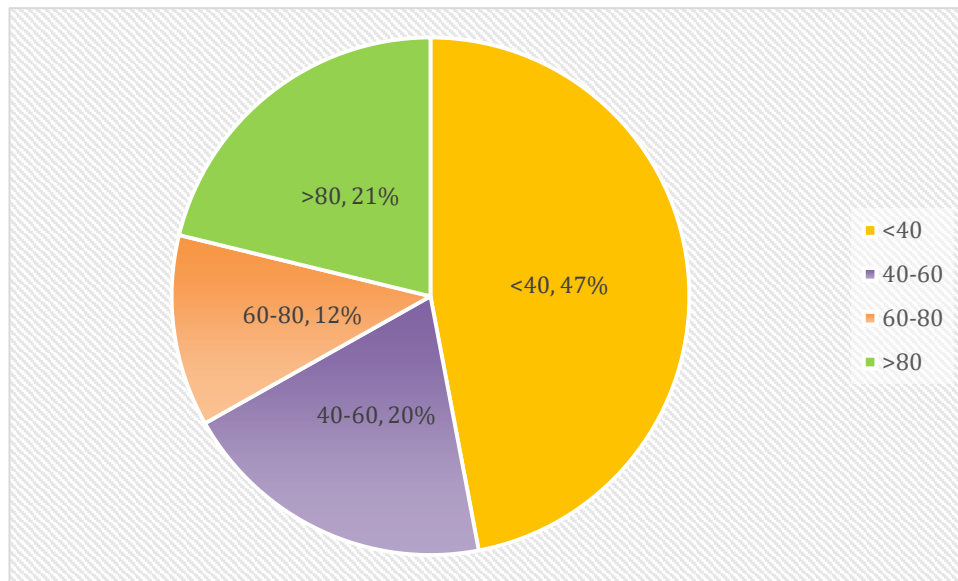


Figura 16. Porcentaje de ocupación según rangos de NC en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

Para la modelización con GeoQ se aplicaron tres tormentas: una modal (80 mm), una de alta intensidad y corta duración (56,7 mm) en el período de enero del 2016 hasta la actualidad, y en el mismo período, una tormenta extrema de alta intensidad y larga duración (171,7 mm). Los destrozos ocurridos por dichos eventos, en la localidad de Pinamar, en las fechas de las tormentas estudiadas, son coincidentes con los resultados obtenidos en la simulación de lluvia-escorrentía con GeoQ.

Las inundaciones temporales sucedidas se corresponden con las zonificaciones siguientes que representan la distribución del CE (coeficientes de escorrentía) para cada tormenta de las Figuras 17a, 17b, 17c.

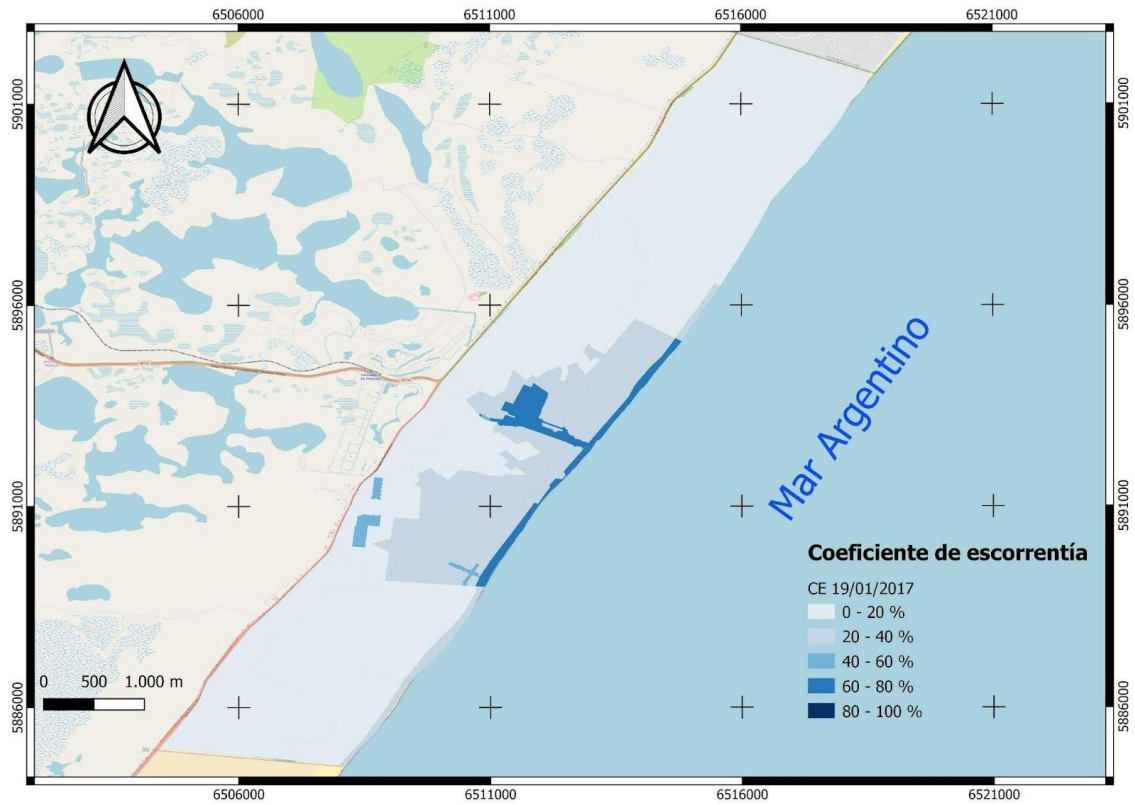


Figura 17a. Mapa de coeficiente de escorrentía (CE) generado por la tormenta de 56,7 mm del 19/01/2017 en la localidad de Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

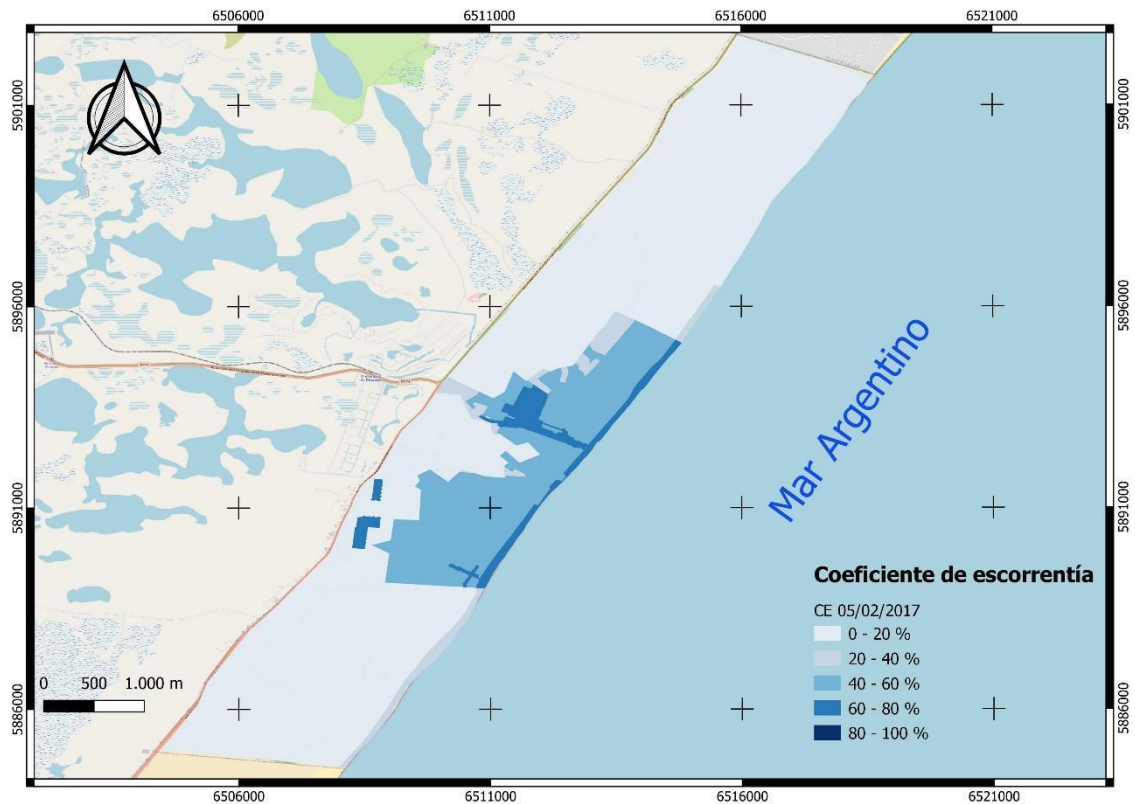


Figura 17b. Mapa de coeficiente de escorrentía (CE) generado por la tormenta modal de 80 mm del día 05/02/2017 en la localidad de Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

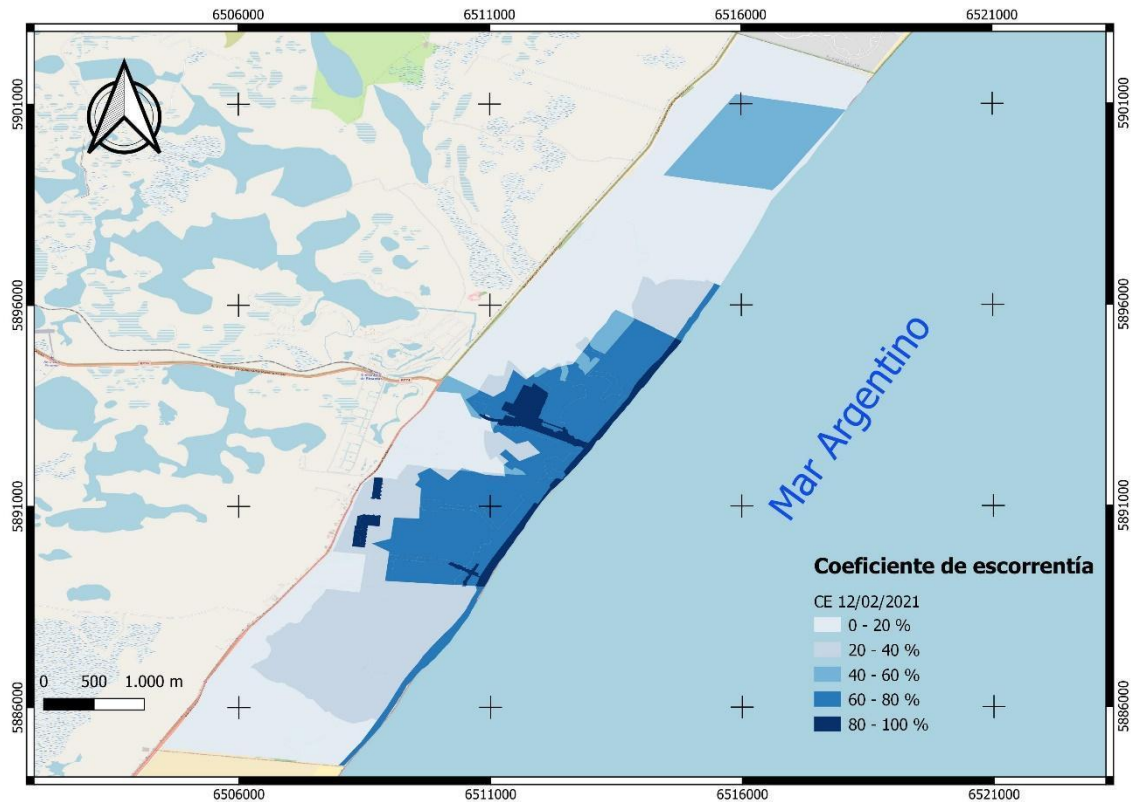


Figura 17c. Mapa de coeficiente de escorrentía (CE) generado por la tormenta de 171,7 mm del día 12/02/2021 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

Las intensas lluvias provocaron anegamiento de calles de manera temporal, aunque, dejando deterioro en la infraestructura y provocando cortes de luz, evacuados, etc. Para el caso de la tormenta del 12 de febrero, no solo se vieron afectadas las calles y con ello el tránsito, si no también, muchos comerciantes y vecinos sufrieron daños en sus locales y viviendas.

Las siguientes fotos que se muestran en la Figura 18a, 18b y 18c validan y/o corroboran el exceso de escorrentía para la tormenta de mayor intensidad.



Figura 18a. Fuente: <https://www.cronica.com.ar/info-general/Inundacion-en-Pinamar-cayeron-200-milímetros-de-lluvia-en-solo-tres-horas-20210212-0058.html>



Figura 18b. Fuente: <https://www.infobae.com/sociedad/2021/02/12/autos-bajo-el-agua-y-traslados-en-canoa-una-fuerte-tormenta-inundo-las-calles-de-pinamar/>



Figura 18c. Fuente: <https://www.diario26.com/295542--fuerte-temporal-inundo-las-calles-de-pinamar-calles-anegadas-autos-bajo-el-agua-y-evacuados>

En forma descriptiva de la dinámica hídrica según el complejo suelo-vegetación se presenta en la Figura 19a, 19b y 19c, donde se presenta el coeficiente de infiltración (CF) y en la Figura 20a, 20b y 20c el coeficiente de abstracciones iniciales (C_{lo}), para cada tormenta definidos geoespacialmente con GeoQ.

En las figuras correspondientes al CF, se visualiza, conforme va aumentando la masa de lluvia que se presenta en el área de estudio, que también cambia la distribución de los porcentajes del coeficiente. Hay un predominio del rango de 40-60% de infiltración en la tormenta de 171,7mm. El rango de <20% se encuentra presente en todas las figuras, siendo en la Figura 19c la de una menor área de ocupación.

En los mapas de las figuras correspondientes al C_{lo}, se obtuvo que, donde hubo alto porcentaje de ocupación del rango de <20% del coeficiente de infiltración, se corresponden con el mayor rango >80% del coeficiente de abstracciones como se visualiza en las Figuras 20a y 20b. En la Figura 20c, el rango predominante es el de 60-80% de C_{lo} y el rango de mayor abstracción no está presente.

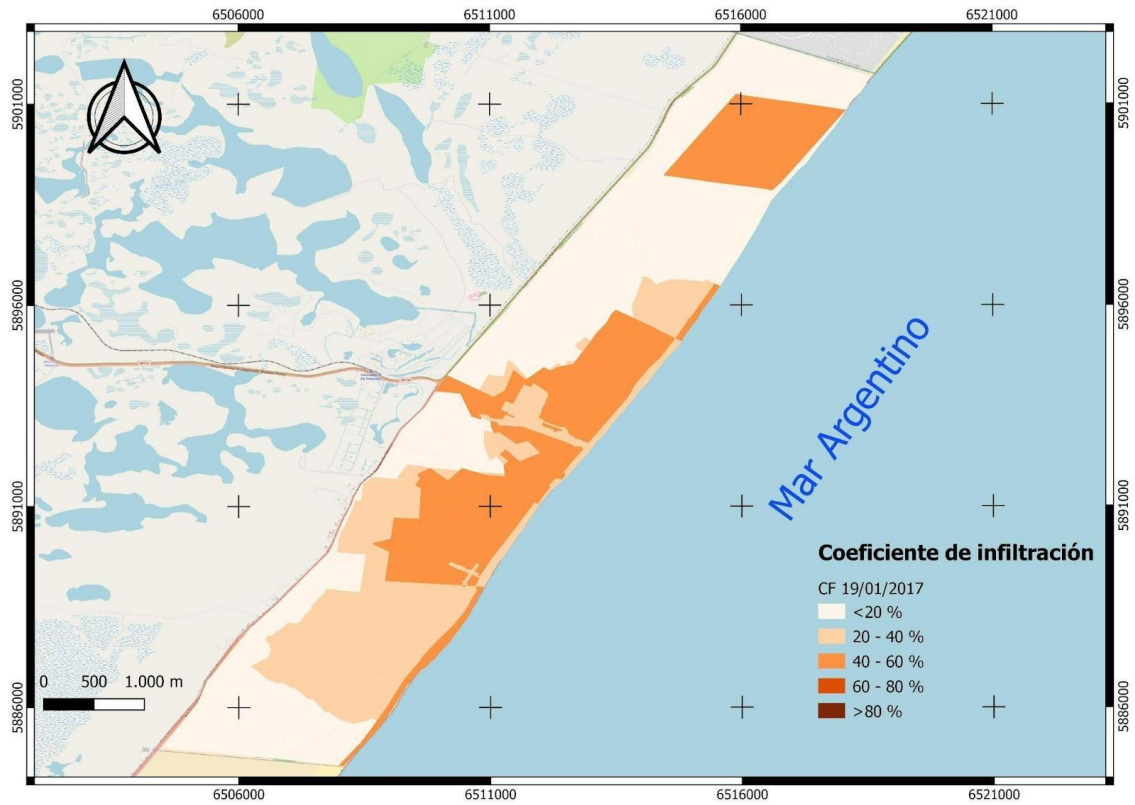


Figura 19a. Mapa de Coeficiente de infiltración (CF) generado por la tormenta de 56,7 mm del 19/01/2017 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

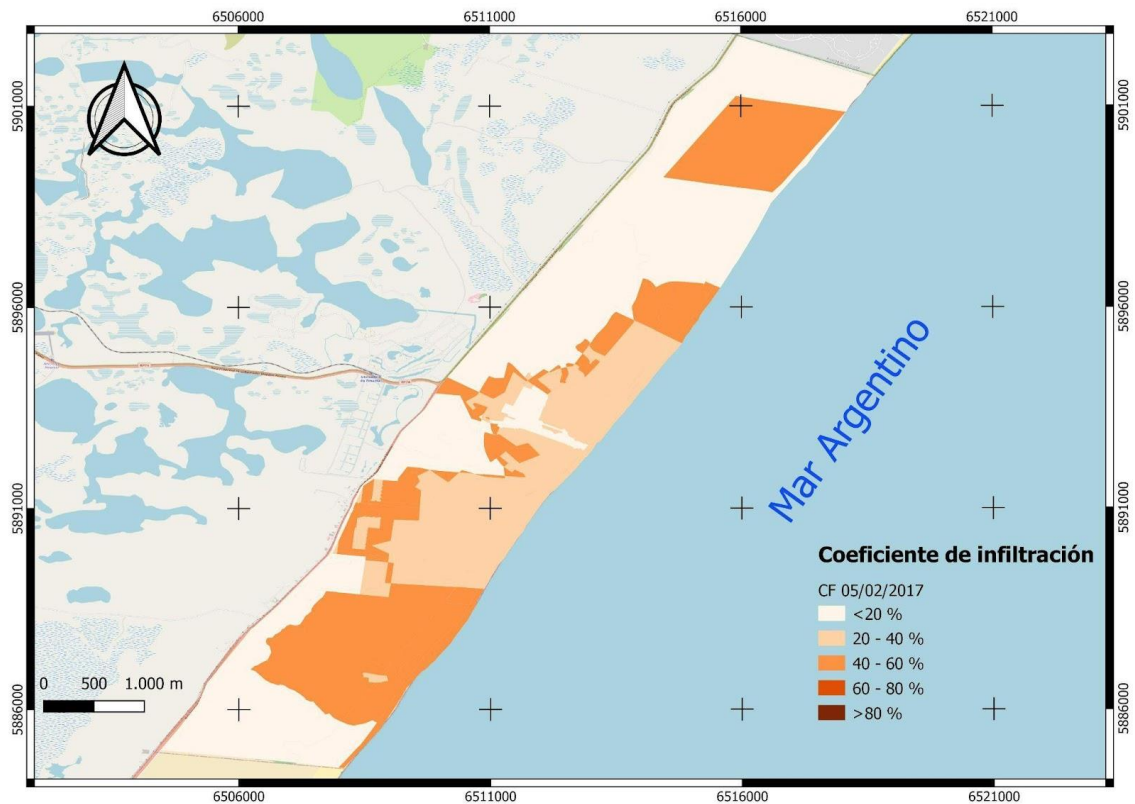


Figura 19b. Mapa de Coeficiente de infiltración (CF) generado por la tormenta de 80 mm del 05/02/2017 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

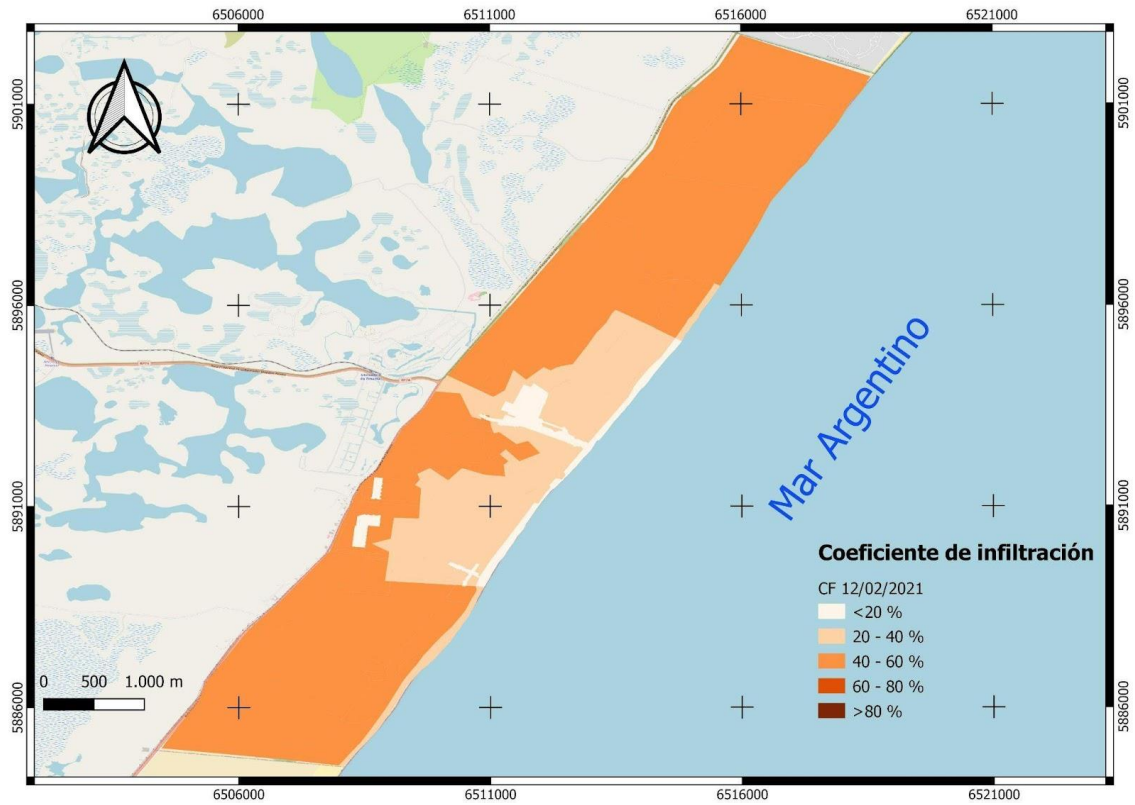


Figura 19c. Mapa de Coeficiente de infiltración (CF) generado por la tormenta de 171,7 mm del 12/02/2021 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

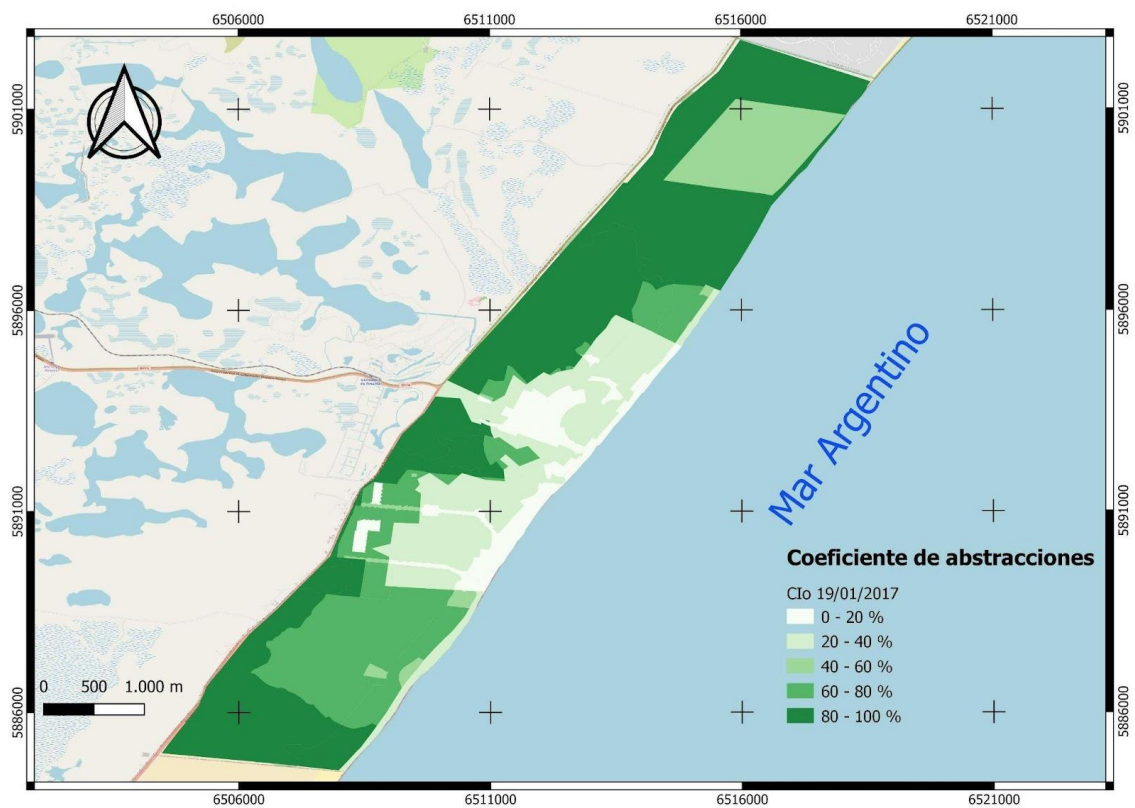


Figura 20a. Mapa de Coeficiente de abstracciones (Cio) generado por la tormenta de 56,7 mm del 19/01/2017 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

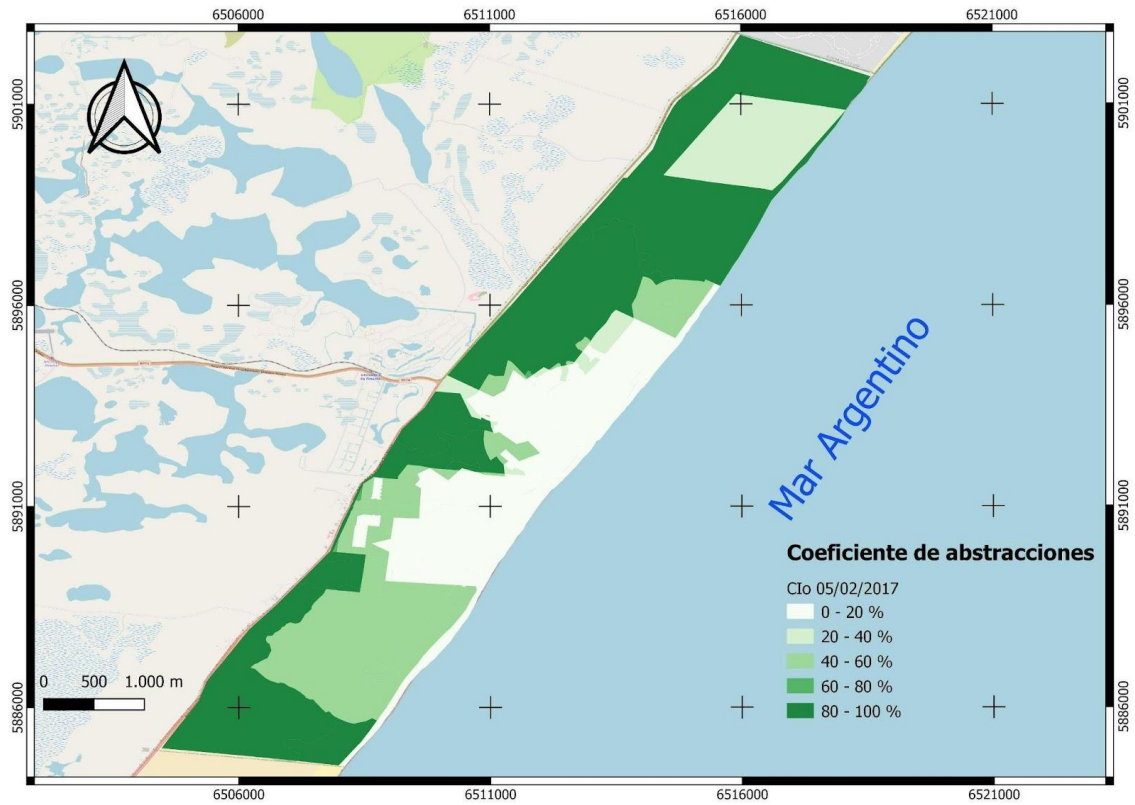


Figura 20b. Mapa de Coeficiente de abstracciones (Cto) generado por la tormenta de 80 mm del 05/02/2017 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

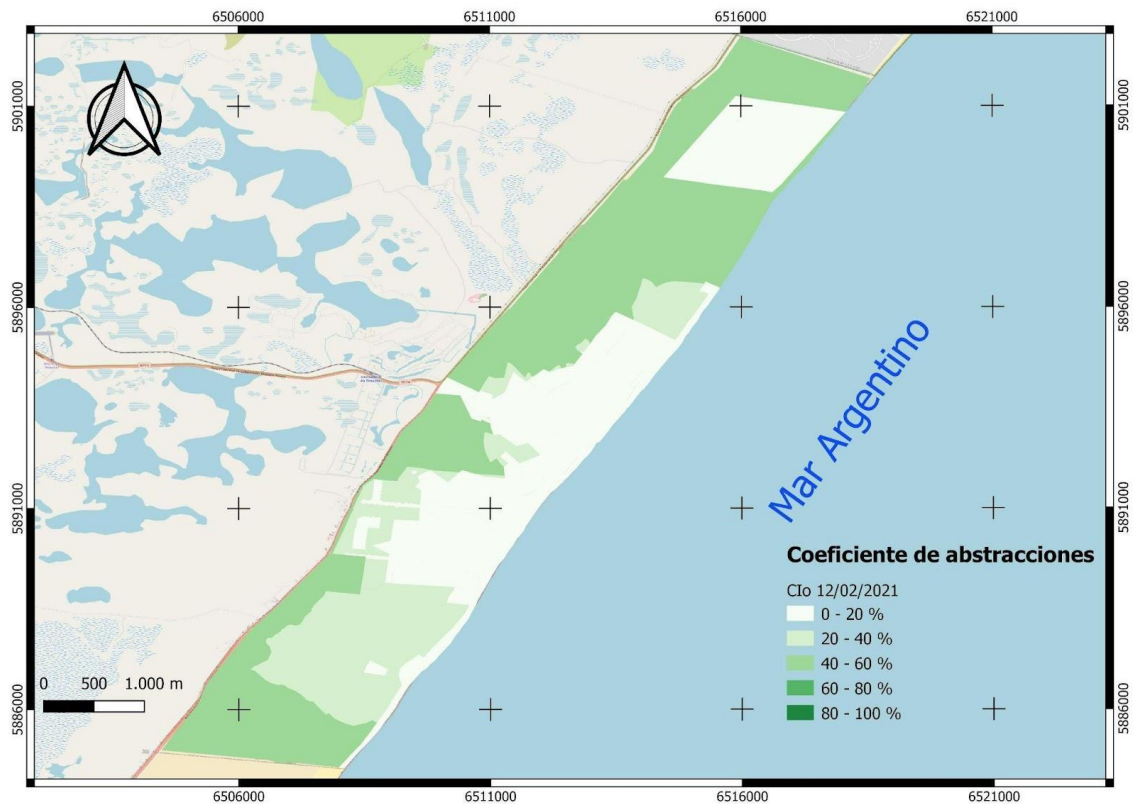


Figura 20c. Mapa de Coeficiente de abstracciones (Cto) generado por la tormenta de 171,7 mm del 12/02/2021 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

5.4 Planteo de estrategias de conservación de servicios hidrológicos ecosistémicos.

La búsqueda de alternativas para enfrentar la problemática ambiental ha llevado al reconocimiento de la estrecha dependencia que existe entre las características y los procesos de los ecosistemas y de aquellos propios de las sociedades humanas. En este contexto, al abordar el concepto de servicios ecosistémicos (SE) hacia la sociedad, se enfatiza la interdependencia que existe entre sistemas ecológicos y sistemas sociales (Delgado et al., 2013).

La aplicación de una tasa de cambio con los resultados alcanzados aplicando la representación de la zonificación de *BU*, se presenta en la Figura 21, donde se ha clasificado en cinco rangos, Vegetación vigorosa, Vegetación, sin cambios, Semiurbano y Urbano/Presencia de dunas. Este último, permite visualizar adecuadamente el avance de la urbanización en Pinamar y también el avance de las dunas costeras sobre la vegetación de la costa e implantada. Además, se corrobora la incorporación implantada como pinos, eucaliptus, acacias y parquizaciones en las zonas de color verde que representan a la Vegetación y a la Vegetación vigorosa. Al sur del municipio se visualiza el avance de la urbanización en las localidades de Ostende y Valeria para identificar áreas Semiurbanos y Urbanos.

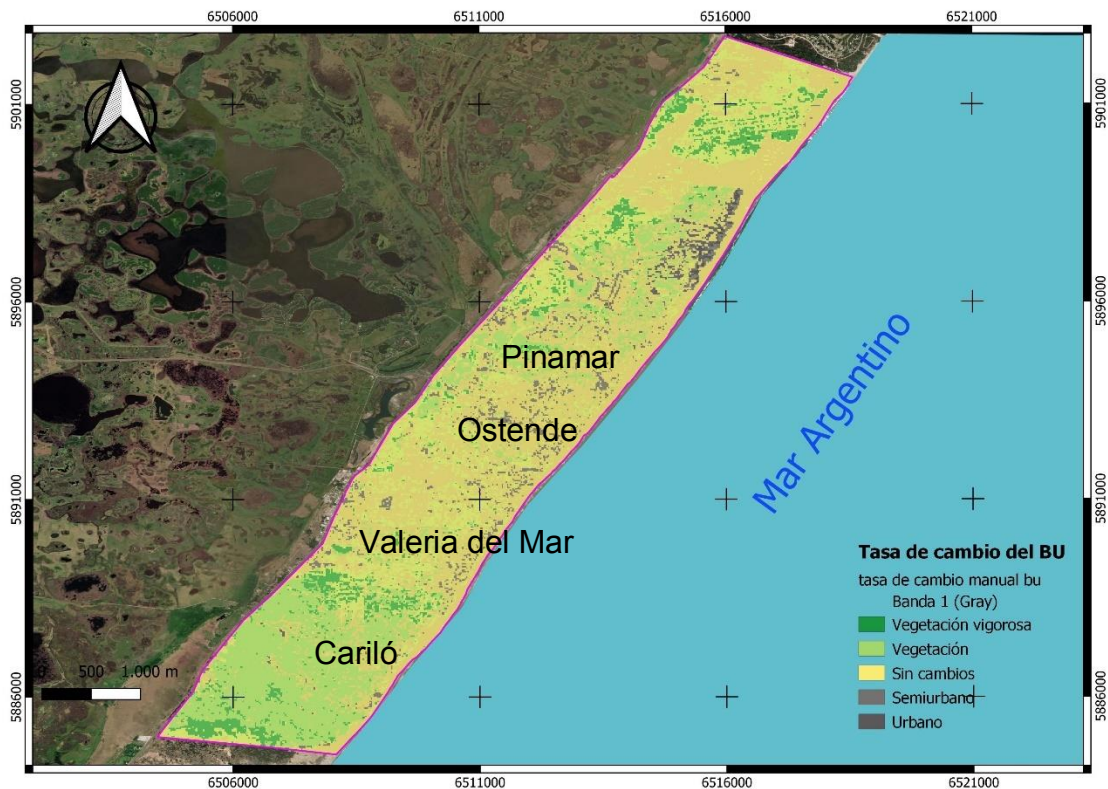


Figura 21. Mapa de tasa de cambio del *BU* entre 1990 y 2021 en Pinamar. Fuente: Elaboración propia.

Para implementar planes y proyectos de manejo de cuencas hidrográficas / territorio, se pueden considerar diferentes tipos de estrategias, desde aquellas que están dirigidas a la gestión de recursos, hasta las que permiten la integración y participación de agricultores a nivel de predio, o de trabajos comunitarios (Carrie, 2004; Delgado et al, 2013). Los proyectos son los que posibilitan la implementación de acciones dirigidas a resolver los problemas y demostrar en forma directa las bondades del manejo o de la rehabilitación de las cuencas y territorios. Además, permiten diseñar las acciones de intervención y cómo ejecutar cada una de las actividades (Carrie, 2004; Gaspari et al, 2009; Delgado et al, 2013).

Los criterios básicos que se recomiendan seguir con los planes de acción son:

1. Plantear alternativas de conservación y producción para el desarrollo de áreas pequeñas (microcuencas, subcuenca, complejos, zonas de tratamientos, a menos que exista experiencia y recursos necesarios para otras prioridades).
2. Viabilidad económica.
3. Ambientalmente sostenibles.

4. Sociocultural e institucionalmente aceptables.
5. Orientadas hacia la producción mediata e inmediata y
6. Administrativamente factibles y operables.

En este sentido, es muy importante utilizar conceptos sencillos sobre uso apropiado de la tierra y las tecnologías de producción y conservación que puedan entender y aplicar directamente los agentes de cambio sin mucha ayuda técnica y financiera.

La importancia del paisaje para una localidad es tal que los organismos, públicos o gubernamentales, deberían poner en marcha acciones que permitan controlar el impacto ambiental que ciertos planes o proyectos ocasionan sobre el paisaje, especialmente cuando se trata de tomar decisiones frente a propuestas de instalaciones industriales o facilidades públicas como caminos y alcantarillados (Delgado et al, 2013).

Los servicios hídricos de los ecosistemas no sólo comprenden la provisión de agua en cantidad y calidad, sino también la regulación hidrológica. Esta cobra gran importancia en las llanuras, donde la vegetación y el uso de la tierra pueden jugar un papel relevante al afectar la generación de excedentes hídricos e inundaciones. Los mecanismos principales son la partición de la precipitación en: a) escurrimiento superficial e infiltración y b) la partición del agua infiltrada en evapotranspiración y drenaje profundo. Ambos mecanismos intervienen en la provisión de agua y en la regulación hidrológica (Jobbágy, 2011; Delgado et al, 2013).

En coincidencia con Dadón (2002) y Abarca (2014), los planes estratégicos municipales contemplan pocos espacios naturales protegidos o ninguno, a pesar de que son indispensables para mantener los procesos naturales de recuperación de la playa, la flora y la fauna, además de constituir un atractivo turístico en sí mismos. Sin una correcta planificación la urbanización podría finalmente afectar toda la zona costera bonaerense, conformando un frente urbano ininterrumpido. Una de las consecuencias de esta expansión sería el deterioro irreversible de los procesos dinámicos que mantienen la calidad ambiental, algo indeseable desde el punto de vista paisajístico, pero particularmente preocupante para la economía y el turismo regionales por sus consecuencias: pérdida de recursos pesqueros, desaparición de la biodiversidad nativa, disminución de la calidad escénica, aumento de la erosión costera, agotamiento de acuíferos, aumento de la contaminación y mayor vulnerabilidad a eventos catastróficos.

Por ello, los instrumentos de Gestión Ambiental son los recursos que utiliza la sociedad para llevar a cabo acciones concretas destinadas a lograr los objetivos planteados por las políticas. Estos generalmente constituyen el elemento operativo de los planes y programas ambientales adoptados (Delgado et al, 2013).

CONCLUSIONES

Se concluye que, debido a la incidencia de una lluvia torrencial, de mucha intensidad o de gran masa de lluvia, en el área en estudio, se producen anegamientos e inundaciones que deterioran las infraestructuras urbanas, como son calles y avenidas, generando erosión hídrica superficial.

En concordancia con el Estudio de Impacto ambiental de la OPDS en las localidades de Pinamar (Ministerio de Ambiente de la provincia de Buenos Aires, s/f), se concluye que hay evidencia de aumento de la impermeabilización, dado por el avance de las edificaciones y por la compactación de las calles de arena, que produce mayores niveles de anegamiento con mayor velocidad de escurrimiento, trayendo aparejado el desarrollo de fenómenos erosivos. Por otro lado, también se evidencia el anegamiento, que se produce en los puntos bajos, durante el pico de las tormentas intensas que se corresponde con los excedentes generados en las calles y son conducidos por las mismas por la impermeabilización de las calles y avenidas, conjuntamente con lo generado en las edificaciones.

Para el diagnóstico básico los sistemas de información geográfica (SIG) son de gran utilidad. Esta herramienta permitió apoyar y facilitar la realización de los análisis de datos geoespaciales, diseñar los planes de manejo, evaluar los avances en proceso de implementación y evaluar los impactos a largo plazo.

Como dice Delgado et al (2013), la información biofísica y socioeconómica puede ser representada en forma espacial (como mapas temáticos) con su respectiva variabilidad temporal, de manera que aspectos específicos relacionados con el uso de la tierra, recursos hídricos, sistemas de extensión, accesibilidad, se expresan e interpretan cualitativa y cuantitativa sobre el manejo de los recursos naturales y el bienestar del hombre.

En acuerdo con Montealegre y Gaspari (2021), la sistematización de procesos geoespaciales del GeoQ, por medio de herramientas SIG, permitió agilizar y

estandarizar procesos, al igual que manipular y analizar con información vectorial, generando una base de datos geoespacial que contienen información sobre la zonificación de los componentes hidrológicos, como lo, Q y F, contribuyendo a generar cartografía que describa este fenómeno. De esta manera, conforma material actualizado para apoyar proyectos de planificación territorial, permitiendo trabajar a nivel de municipio.

El presente TFC logra información geoespacial nueva que ofrece un apoyo técnico científico de los servicios hidrológicos ambientales de Pinamar. Abarca (2014) menciona que los gestores a cargo del manejo de tierras urbanas para la biodiversidad, a menudo responden a los mandatos políticos, con sus agendas particulares y con tiempos de acción distintos a los que un proyecto de planificación ambiental requiere. También ocurre a menudo, que carecen de los conocimientos técnicos de dicho proyecto, mientras que los especialistas se encuentran distanciados del ámbito político, jurídico, social y económico.

Es importante mencionar que: para la elaboración de proyectos exitosos, sería crucial el trabajo conjunto e interdisciplinario, buscando proporcionar acciones más flexibles y probablemente más efectivas.

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar, a mi Directora, la Doctora Fernanda Gaspari, por su paciente respaldo académico y humano para afrontar este Proyecto; y por todas las pasantías y emprendimientos que he conseguido gracias a su interés y dedicación.

A mi familia y amigos, por la energía y el incentivo constante que supieron brindarme.

A mis padres, por supuesto, por la compañía invaluable de esos mil viajes que ellos hicieron más fáciles; y, desde ya, por su ejemplo inquebrantable.

Muy especialmente a *Martu*, mi hija, por hacerme latir el corazón mucho más fuerte desde que nació. Le agradezco con el alma haber soportado mis ausencias y por no haber dejado que jamás me doblegue...Porque tengo grabadas en lo más profundo de mi ser sus palabras “- Mami, no importa cuánto tardes, no dejes lo que te gusta...”.

A mi compañero, Pablo, por la paciencia, por apoyarme incondicionalmente en este arduo, pero hermoso camino que elegí.

Le agradezco también a esta apasionante profesión, que me acompaña y me acompañará por siempre, porque si no hubiese despertado en mi todo este amor, no hubiera podido atravesar esta senda de conocimiento y autoconocimiento que me ha ido forjando y transformando en la Mamá, la compañera, la hija, la amiga, la docente y la profesional que soy.

La financiación de este trabajo se desarrolló con apoyo del Proyecto denominado “El arbolado urbano en dunas costeras. Interacción y aprendizaje del entorno forestal”, del Programa de Incentivos a los Docentes - Investigadores - Secretaría de Política Universitaria – Ministerio de Educación de la Nación. Proyectos I+D 2016. Director: Dra. Fernanda Gaspari. Acreditado. Proy. N° 11/A287.

Además, contó con financiamiento del Proyecto denominado “Lineamientos generales para la planificación en cuencas hidrográficas preservando los servicios hidrológicos ambientales”. Programa de Incentivos a los Docentes - Investigadores - Secretaría de Política Universitaria – Ministerio de Educación de la Nación. Proyectos I+D 2020. 2020-2024. Director: Dra. Fernanda Gaspari. Acreditado. Proy.N° 11/A347.

Se agradece al señor Patricio O'Neill, responsable de la estación meteorológica dependiente de Telpin (Cooperativa Telefónica de Pinamar) quien nos aportó datos muy útiles para la caracterización pluvial.

El Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), en la Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, FCAF-UNLP brindó apoyo tanto en tareas de gabinete como así también en las tareas a campo. Se dispuso de computadoras con programas de procesamiento de datos geoespaciales (SIG), de texto y planillas de cálculo, de escáner e impresoras, y una amplia bibliografía relacionada al tema.

BIBLIOGRAFÍA

Abarca, M. D. T. 2014. Zonificación Ambiental Costera en el Partido de Lobería, Provincia de Buenos Aires (Doctoral dissertation, Universidad Maimónides)

Aguayo M., Pauchard, A., Azócar, G. & O. Parra. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374 p.

Asociación Mundial para el Agua y Red Internacional de Organismos de Cuenca. 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Estocolmo, Suecia. 111 pp.

Batisani N. & Yarnal B. 2009. Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations. *Applied Geography*. Vol. 29, N° 2, p. 235-249.

Bhatti S. S. & Nitin K. T. 2014. Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. *GIScience & Remote Sensing*. 51(4) Pages 445-467. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15481603.2014.939539>

Carrie, J. 2004. Manual de manejo de cuencas. En línea. Disponible en: [http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual de Manejo de Cuencas Vision](http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual%20de%20Manejo%20de%20Cuencas%20Vision). Canadá: World Vision.

Catalán B.; Saurí D. & Serra P. 2008. Urban sprawl in the Mediterranean? Patterns of growth and change in the Barcelona Metropolitan Region 1993-2000. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 85, N° 3-4, p.174-184.

Chow, V. Te, Maidment, D. R., Mays, L. W., Saldarriaga, J. G., Santos G., G. R. 1994. *Hidrología Aplicada*. In Bogotá, Colombia. McGraw-Hill.

Chuvienco E. 2007. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel Ciencia. España.

Crawford T.W. 2007. Where does the coast sprawl the most? Trajectories of residential development and sprawl in coastal North Carolina, 1971-2000. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 83, N° 4, p. 294-307.

Dadon, J. R., 2002. El impacto del turismo sobre los recursos naturales costeros en la costa pampeana. En: *Zona Costera de la Pampa Argentina* (J. R. Dadon y S. D. Matteucci, eds.). Lugar Editorial, Buenos Aires, pp. 101-121. ISBN 950-892-140-4

Delgado, M. I., Gaspari, F. J., & Senisterra, G. E. 2013. Tendencia de cambio espacio-temporal del escurrimiento superficial en una cuenca serrana. Argentina.

Dennison W.C. 2008. Environmental problem solving in coastal ecosystems: A paradigm shift to sustainability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 77, N° 2, p. 185-196.

Dourojeanni, A. 2000. *Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable*. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 371 pp.

Gaspari F. J.; Rodriguez Vagaría A. M.; Senisterra G. E.; Delgado M. I. & Besteiro S.I.. 2013. *Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Edulp, 1 ed, La Plata, Argentina. 191 pp.

Gaspari F. J.; Senisterra G. E.; Delgado M. I.; Rodriguez Vagaría A. M. & Besteiro S.I.. 2009. *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Autores, 1 ed, La Plata, Argentina. 328 pp.

Gaspari, F. J., & Senisterra, G. E. 2006. Zonificación del número de la curva (CN) en la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande. Coronel Pringles. Tercer Congreso de La Ciencia Cartográfica, 26.

Gillies R.R.; Box J.B.; Symanzik, J. & Rodemaker E.J. 2003. Effects of urbanization on the aquatic fauna of the Line Creek watershed, Atlanta-a satellite perspective. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 86, N° 3, p. 411-422.

He C.; Shi P.; Xie D. & Zhao Y. 2010. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, v.1, Issue 4, pp. 213-221.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1998. Guía Simplificada para la Elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial Municipal. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 75 pp.

INTA. Proyecto PNECO 1643. 2009. Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos.

INTA. 1989. Descripción de cartas de suelo de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:50.000.

Jobbágy, E.G.; Noretto M.D.; Villagra P.E. & Jackson R.B. 2011. Water subsidies from mountains to deserts: their role in sustaining groundwater-fed oases in a sandy landscape. *Ecological applications*, 21:678-694.

Johnston M.P. 2015. Planificación de estrategias de protección ambiental en cuencas hidrográficas de la costa sur del Río de La Plata.

Kruse E.; Sarandón R.; Gaspari F. J. 2012. Impacto del Cambio Climático en el gran La Plata. La Plata, Argentina. 101 pp.

López E.; Bocco G.; Mendoza, M. & Duhau, E. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 55, N° 4, p. 271-285.

Medina, F. A. M., Gaspari, F. J. 2021. GeoQ: Herramienta geoespacial para la zonificación de la escorrentía en QGIS®. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 9(2), 170-192.

Merlotto A., Piccolo M.C, Bértola G.R. 2012. Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de geografía Norte Grande*, n°53. 159-176 pp.

Merlotto A. & Bértola G.R. 2009. Coastline evolution at Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Ciencias Marinas*. Vol. 35, N° 3, p. 271-286.

Mintegui Aguirre J. A. y López Unzué J. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Montealegre, F.A.M; Gaspari, F.J. 2021. GeoQ: Automatización del procesamiento de cálculo de la escorrentía superficial bajo entorno QGIS 3.18®. Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 15 pp.

Montealegre Medina, F.A.; Gaspari, F.J. y S.Perdomo. 2020. Análisis territorial y de expansión urbana aplicando índices de construcción. *Revista GeoSIG (Geografía y Sistemas de Información Geográfica)*. Universidad Nacional de Lujan, Argentina. ISSN: 1852-8031. <https://revistageosig.wixsite.com/geosig> En edición.

Municipalidad de Pinamar. 2000. Código de Ordenamiento Urbano del Partido de Pinamar Secretaría de Obras y Servicios Públicos Dirección de Planeamiento, Obras y Proyectos. [COU_Pinamar.pdf \(hcdpinamar.gov.ar\)](http://hcdpinamar.gov.ar)

Muñoz Cárpena R. & A.Ritter Rodríguez. 2005. Hidrología agroforestal. Ed. Mundi Prensa, Coeditor Gobierno de Canarias. España. 348 pp.

Orellano, H. A. T., Isla, F. I., & Juárez, V. I. 2003. Implementación de un SIG en la evaluación de la aptitud para prácticas forestales en el litoral bonaerense. Boletín Paranaense de Geociencias, 53.

Ortiz Lozano L.; Granados Barba, A.; Solís Weiss V. & García. 2005. Salgado M.A. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. Ocean & Coastal Management. Vol. 48, N° 2, p. 161-176.

Pascual Aguilar J.A.; Añó C.; Valera A. & Sánchez J. 2006. Urban growth dynamics (1956-1998) in mediterranean coastal regions: the case of Alicante, Spain. In: Kepner, W.G.; Rubio, J.L.; Mouat, D.A. & Pedrazzini, F. (Editors). Desertification in the Mediterranean Region: a Security Issue. Dordrecht: Springer. p. 325-340.

Sandoval, V & V. Oyarzun. 2004. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Revista Quebracho 11: 9-21.

Senisterra, G.E., Gaspari, F.J. & M.G..Mazzucchelli. 2014. Análisis espacio temporal del cambio de uso del suelo en una cuenca serrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica "Logros y desafíos de la Cartografía". 19 y el 21 de Noviembre de 2014, Buenos Aires. Argentina.

Tang J.; Wang L. & Yao Z. 2008. Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. Landscape and Urban Planning. Vol. 87, N° 4, p. 269-278.

Tucci, C. E.M. 2007. Gestión de Inundaciones Urbanas. Porto Alegre, Brasil. 281 pp.

Volante J. 2006. Cobertura del suelo de la República Argentina.

Weber, C. & Puissant, A. 2003. Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area. Remote Sensing of Environment, N° 86, p. 341-352.

Xie Z.; Xu X. & Yan L. 2010. Analyzing qualitative and quantitative changes in coastal wetland associated to the effects of natural and anthropogenic factors in a part of Tianjin, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Vol. 86, N° 3, p. 379-386.

Zha, Y., J. Gao, & S. Ni. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing 24, no. 3: 583-594.

ANEXOS

ANEXO 1.

Serie Punta Médanos (PM)

Es un suelo sin desarrollo, arenoso, profundo, de aptitud ganadera, se encuentra en un paisaje muy ondulado de dunas Costeras, en posición de loma, en la Subregión Llanuras Marinas, excesivamente drenado, formado sobre arenas de origen eólico, levemente alcalino, no salino con pendientes de 0 a 1%.

Clasificación taxonómica: Udipsament Típico, Arenosa, térmica (USDA-S.

Taxonomy V. 2010).

Descripción del perfil típico:

I	0-100 cm; pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; gris parduzco claro (10YR 6/2) en seco; arenosa; grano suelto; no plástico; no adhesivo; abundante reacción al carbonato en la masa vestigios de raíces.
---	---

Ubicación del Perfil: Latitud S: 37° 36' 53". Longitud O: 57° 15' 55". Altitud: 7 m.s.n.m. a 2 km. al sudeste de Estancia Romano, partido de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. Mosaico I.G.M. 3757-27-3, Laguna Mar Chiquita.

Variabilidad de las características: Médano vivo.

Series similares: El Tuyú.

Suelos asociados: El Tuyú, Laguna Blanca, Faro Querandí, Santa Teresita y Villa Gesell.

Drenaje y permeabilidad: Excesivamente drenado, escurrimiento medio, permeabilidad muy rápida, profundidad de la capa freática a más de 120 cm.

Uso y vegetación: Ganadero. Cobertura vegetal 10%, con Pasto Llorón (*Eragrostis curvula*).

Capacidad de uso: VI es

Limitaciones de uso: Escaso desarrollo del perfil, drenaje, baja Capacidad de Intercambio Catiónico (bajo CIC), 10% de Calcáreo en superficie, erosión grave.

Índice de productividad según la región climática: 7,1 (B)

Rasgos diagnósticos: Epipedón Ótrico, régimen de humedad údico, escaso desarrollo genético, médanos vivos.

Datos Analíticos:

Horizontes	I
Profundidad (cm)	10-80
Mat. orgánica (%)	0,03
Carbono total (%)	0,02
Arcilla < 2 μ (%)	0,7
Limo 2-20 μ (%)	0,2
Limo 2-50 μ (%)	0,9
AMF 50-100 μ (%)	16,9
AF 100-250 μ (%)	28,2
AM 250-500 μ (%)	42,8
AG 500-1000 μ (%)	0,2
AMG 1-2 mm (%)	0,0
Calcáreo (%)	10,3
Eq.humedad (%)	1,2
Re. pasta Ohms	26208
pH en pasta	8,6
pH H₂O 1:2,5	8,9
pH KCL 1:2,5	7,6

Fuente: INTA 1989.