EVALUACIÓN DEL IMPACTO ANTRÓPICO Y CALIDAD AMBIENTAL EN HUMEDALES COSTEROS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO: PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MONITOREO

Tesis

Entregada a la
Universidad de Valparaíso,
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al grado de

Magíster en Ciencias Biológicas mención Biodiversidad y Conservación
Instituto de Biología
Facultad de Ciencias

Por

José Barría Herrera

Marzo, 2025

INSTITUTO DE BIOLOGIA

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

INFORME DE APROBACION
TESIS DE MAGISTER

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Magister presentada por el candidato

JOSÉ HUMBERTO BARRÍA HERRERA

Ha sido aprobada por la comisión de evaluación de la tesis, como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias Biológicas mención Biodiversidad y Conservación, en el examen de defensa de tesis rendido el día 28 de abril de 2025.

Directora de Tesis:

Prof.	Doris Oliva Ekelund

Comisión de Evaluación de la Tesis:

Prof.	Doris Oliva Ekelund
Prof.	Hernán Gaete Olivares
Prof.	Luis Figueroa Fabrega

Dedicatoria: Te dedico este logro papá

Humberto Barría Núñez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mi madre, abuelita y madrina, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional durante todo este largo proceso. Su paciencia y confianza en mí fueron fundamentales. También agradezco a mi novia, quien fue un apoyo constante e incentivo para finalizar esta etapa. No quiero dejar de mencionar a mis mascotas, que siempre estuvieron a mi lado, ofreciéndome su amor incondicional.

Agradezco a mis amigas Coni y Teru, quienes me acompañaron en la recolección de muestras y en los viajes por la región, así como a mis compañeros del magíster, con quienes compartí los altibajos de este interminable proceso. También agradezco al Municipio de Concón por su colaboración activa durante todo el proceso de mi tesis.

Un agradecimiento especial a la profesora Doris, quien me brindó la oportunidad de desarrollar un tema de tesis poco común en el magíster y tuvo una paciencia infinita conmigo. Finalmente, quiero agradecer a la Universidad de Valparaíso por el financiamiento de mi tesis de posgrado, a través de los proyectos “UVA2295” y “UVA2395”, que me permitieron sustentarme durante algunos meses.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN 8
ABSTRACT 9
INTRODUCCION 10
Humedales y su importancia 10
Humedales de la región de Valparaíso y sus características 11
Amenazas que afectan a los humedales 13
Normativa nacional e internacional para su conservación 15
Residuos antropogénicos e impacto en el mundo 17
Impacto de los residuos domésticos e industriales a nivel nacional 18
Métodos utilizados para el estudio de Residuos en humedales y su efecto en su calidad ambiental 20
Protocolos de monitoreo de residuos 22
Hipótesis y objetivos ……. 24**¡Error! Marcador no definido.**
MATERIALES Y MÉTODOS 25
2.1 Clasificación de los humedales costeros de la Región de Valparaíso según el grado de intervención antrópica. 25
2.2. Cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros con diferentes grados de intervención de la Región de Valparaíso. 26
2.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos. 28
2.4. Desarrollo de un protocolo para el monitoreo, de los residuos sólidos en humedales costeros y validar en un caso de estudio. 31
Análisis estadísticos 31
RESULTADOS 32
3.1 Clasificación de los humedales costeros de la Región de Valparaíso según el grado de intervención antrópica. 32
3.2 Cuantificación los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros con diferentes grados de intervención de la Región de Valparaíso. 33
3.3 Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos. 38
3.4 Desarrollo de protocolo para el monitoreo, de los residuos sólidos en humedales costeros y validar en un caso de estudio 46

DISCUSION 53
4.1. Clasificación de los humedales costeros de la Región de Valparaíso según el grado de intervención antrópica. 53
4.2. Cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros con diferentes grados de intervención de la Región de Valparaíso. 54
4.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos. 57
4.4. Desarrollo y validación de un protocolo de monitoreo de residuos sólidos. 59
4.5. Implicancias para la conservación y futuras investigaciones 61
CONCLUSIONES 63
5.1. Clasificación de los humedales costeros según su grado de intervención antrópica 63
5.2. Cuantificación y caracterización de los residuos antropogénicos 63
5.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros 64
5.4. Validación y aplicación de un protocolo de monitoreo de residuos 64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Humedales costeros de la Región de Valparaíso y las comunas a que pertenecen…….25

Tabla 2. Rangos de valores según el Índice de Eco-Erosión (IEE) sus niveles…….26

Tabla 3. Clasificación de los Residuos Antropogénicos (RA) en ítem y subitem de acuerdo con OSPAR (2010)……...27

Tabla 4. Clasificación del índice de limpieza costera (ILC) (Alkalay et al., 2007)……...28

Tabla 5. Índice de artículos peligrosos, clasifica las playas en cinco tipos (I a V) según la cantidad de artículos peligrosos presentes…….29

Tabla 6. Tabla dinámica en base al análisis por humedal teniendo en cuenta el Índice de Limpieza Costera (ILC)y el Índice de Artículos Peligrosos (IAP)……30

Tabla 7. Humedales seleccionados (*) en base a la clasificación del Índice de Eco-Erosión…..33

Tabla 8. Densidad (unidades/m²) y biomasa de ítemes recolectados en nueve humedades de diferentes áreas en la Región de Valparaíso…….34

Tabla 9. Índices de calidad ambiental por humedal, valor numérico y estado equivalente. Índice de Limpieza Costera (ILC), Índice de Articulos Peligrosos Tóxicos (IAP (T)), Índice de Artículos Peligrosos Afilados (IAP (A)), Índice de Artículos Peligrosos (IAP), Índice de Estado Ambiental (IEA)……38

Tabla 10. Matriz de comparación de la densidad de la composición de los residuos antropogénicos recolectados entre humedales, en la parte superior se muestran los valores p y en la inferior los valores D. Los humedales se encuentran ordenados según su IEE……39

Tabla 11. Matriz de datos obtenidos de la prueba Kolmogorov-Smirnov (KS) en base a la biomasa de la composición de los residuos antropogénicos recolectados, en la parte superior se muestran los valores p y en la inferior los valores D. Los humedales se encuentran ordenados según su IEE…….40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedales seleccionados y su índice de Eco-Erosión.3**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2. Composición de los residuos antropogénicos recolectados en nueve humedales costeros de la Región de Valparaíso A) Densidades y B) Biomasa..... **¡Error! Marcador no definido.**5

Figura 3. Comparación de la composición de densidad y biomasa por humedal estudiado, agrupados según categoría del IEE, A) Humedales de los grupos IEE I, II, III, IV y B) Humedales del grupo IEE V. ..... **¡Error! Marcador no definido.**7

Figura 4. ACP de los RA en base a su densidad (A) y biomasa (B) para los humedales estudiados. Iconografía: Envases plásticos (plásticos), Caja de cartón (Papel-cartón), Cigarro (Colillas de Cigarros), Bebida en lata (Metales), Botella de vidrio (Vidrios), Tabla (Madera procesada), Mascarilla (Residuos Sanitarios), Rocas (Escombros), Polera (Telas). 41

Figura 5. Dendrograma generado mediante análisis de clúster (índice de similitud euclidiano, algoritmo UPGMA) de los residuos antropogénicos recolectados en nueve humedales costeros de la región de Valparaíso. A) Densidad y B) Biomasa ..... **¡Error! Marcador no definido.**5

Figura 6. Planilla de recolección de RA utilizada para el levantamiento de información en playas de humedales..... **¡Error! Marcador no definido.**9

RESUMEN

Los humedales costeros de la Región de Valparaíso están expuestos a una creciente presión debido a la contaminación por residuos antropogénicos (RA). Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental y el impacto de la intervención antrópica en estos ecosistemas, además de desarrollar un protocolo de monitoreo. Se analizaron nueve humedales con distintos niveles de urbanización mediante la aplicación del Índice de Eco-Erosión, el Índice de Limpieza Costera, el Índice de Artículos Peligrosos y el Índice de Estado Ambiental. Los resultados indicaron una relación entre el grado de intervención antrópica y la densidad de RA, con un predominio de plásticos (70% del total recolectado). Los humedales con mayor urbanización, como Marga Marga y Aconcagua, presentaron los niveles más altos de contaminación y una calidad ambiental deteriorada, mientras que aquellos con menor intervención, como Pullally y Tunquén, mostraron mejores condiciones ambientales. El protocolo de monitoreo desarrollado, basado en metodologías internacionales, demostró ser una herramienta efectiva para evaluar la contaminación en humedales costeros y se espera que sea integrado en el Plan de Gestión Ambiental del Humedal del Aconcagua, donde fue validado por los actores locales. Se recomienda la aplicación del monitoreo en otros humedales, junto con la realización de estudios de largo plazo que permitan evaluar la variabilidad estacional de los RA y su impacto en la biodiversidad.

Palabras clave: humedales costeros, residuos antropogénicos, calidad ambiental, monitoreo, gestión ambiental, Chile Central

ABSTRACT

Coastal wetlands in the Valparaíso Region are under increasing pressure due to pollution from anthropogenic waste (AW). This study aimed to assess environmental quality and the impact of human intervention in these ecosystems, as well as to develop a monitoring protocol. Nine wetlands with varying levels of urbanization were analyzed using the Eco-Erosion Index, Coastal Cleanliness Index, Hazardous Items Index, and Environmental Status Index. The results indicated a relationship between the degree of human intervention and AW density, with plastics accounting for 70% of the total waste collected. More urbanized wetlands, such as Marga Marga and Aconcagua, showed the highest pollution levels and degraded environmental quality, while less impacted sites, such as Pullally and Tunquén, exhibited better environmental conditions. The monitoring protocol developed, based on international methodologies, proved to be an effective tool for assessing pollution in coastal wetlands and is expected to be integrated into the Aconcagua Wetland Environmental Management Plan, where it was validated by local stakeholders. The application of this monitoring protocol in other wetlands is recommended, along with long-term studies to assess the seasonal variability of AW and its impact on biodiversity.

Keywords: coastal wetlands, anthropogenic waste, environmental quality, monitoring, environmental management, Central Chile

1. INTRODUCCION

Humedales y su importancia

Los humedales son biotopos caracterizados por una composición y estructura complejas, así como por un delicado equilibrio ecológico. Estos ecosistemas se localizan en zonas de transición entre sistemas acuáticos y terrestres, donde predominan la vegetación hidrófita y los sustratos saturados de agua (Rojas et al., 2015). Según estimaciones recientes, la extensión total de los humedales a nivel mundial oscila entre 1.500 y 1.600 millones de hectáreas (Convención sobre los Humedales, 2021).

Además de su complejidad ecológica, los humedales son de gran importancia para las personas, ya que proporcionan recursos naturales con valor cultural, científico y turístico (Ramírez et al., 2001). Estos ecosistemas no solo son esenciales para el bienestar humano por suministrar agua limpia, alimentos y productos medicinales, sino que también tienen efectos positivos en la salud mental y el bienestar psicosocial (Horwitz et al., 2012; Romanelli et al., 2015; Maund et al., 2020). En particular, los humedales costeros, como las marismas y los manglares, son un medio de transición de zonas de interacción entre aguas marinas y continentales, ofreciendo servicios ecosistémicos fundamentales que respaldan el desarrollo humano, como la regulación climática, el control de inundaciones y la protección del litoral (Newton et al., 2020). Además, el acceso a estos entornos acuáticos de calidad aporta beneficios directos a la salud humana, reafirmando su importancia para la sostenibilidad y el bienestar social (Convención sobre los Humedales, 2021).

Entre las funciones ecológicas más destacadas de los humedales se encuentran su capacidad como sumideros de carbono, la regulación hídrica, el almacenamiento de agua, la estabilización climática, el control de la sedimentación y la erosión, y su rol como hábitat para flora y fauna. Además, estos ecosistemas sustentan actividades humanas como la ganadería, la agricultura, el turismo y la recreación (Berlanga-Robles et al., 2008; Paredes, 2010).

De manera específica, los humedales desempeñan un papel clave en la captura y almacenamiento de carbono, especialmente en turberas y ecosistemas marinos. También garantizan un suministro seguro de agua potable y de riego, contribuyen a la seguridad alimentaria y ayudan a mitigar desastres relacionados con el agua, como sequías e inundaciones (Convención sobre los

Humedales, 2021). Según estimaciones, el valor global de los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales asciende a 47,4 billones de dólares anuales, lo que representa el 43,5 % del valor de todos los biomas naturales (Davidson et al., 2019).

Por último, es importante destacar que los humedales costeros prístinos actúan como potentes sumideros de carbono, con tasas de secuestro a largo plazo hasta 55 veces más rápidas que las de los bosques tropicales (McLeod et al., 2011). Esta notable capacidad resalta su relevancia en la mitigación del cambio climático.

Además, la productividad de los humedales sustenta una alta diversidad de especies silvestres que han desarrollado adaptaciones específicas para prosperar en estos ecosistemas húmedos. De hecho, más del 40 % de las especies del mundo y aproximadamente el 12 % de todas las especies animales se encuentran en humedales de agua dulce (Rojas et al., 2015). Sin embargo, desde 1970, las especies dependientes de los humedales continentales han experimentado un declive mucho más pronunciado que aquellas asociadas a otros ecosistemas. Este deterioro ha llevado a que un número creciente de estas especies esté actualmente en peligro de extinción, como lo es el caso del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en los Envergadles en Estados Unidos y el pelicano ceñudo (*Pelecanus crispus*) del Delta del Danubio entre Rumania y Ucrania, (Convención sobre los Humedales, 2021).

Humedales de la región de Valparaíso y sus características

En Chile, es de especial interés científico y social los humedales situados en la zona norte y centro del país, ya que en ellos se concentran la mayor diversidad de tipos de humedales., desde criptohumedales a sistemas con lamina de agua libre permanente de diferentes tamaños, pasando por cuerpos acuáticos temporales (Vidal-Abarca et al., 2000).

Hacia el centro de Chile, entre los 27° S y los 31° S, las condiciones climáticas cambian y los ambientes ya no están dominados por la alta radiación y los procesos de evaporación. Los humedales y praderas andinas comienzan a predominar, a medida que desaparecen los salares y los humedales altiplánicos. Aparecen sistemas de valles transversales y humedales estacionales (arroyos y estuarios) (Figueroa et al., 2016).

Los humedales costeros se encuentran bajo presión por las actividades de desarrollo en las cuencas adyacentes, particularmente en la zona central de Chile, donde vive más del 40% de la población total lo que se traduce en más de 7.2 millones según datos oficiales del censo 2017 y se desarrollan la mayor parte de las actividades industriales, como en Valparaíso donde pasa el 30% de todo el comercio del país por tráfico portuario (con excepción de la minería que se desarrolla en el norte de Chile) (Figueroa et al., 2016).

Según Rangel-Buitrago (2018), un caso emblemático de la amenaza a los humedales se observa en la región de Valparaíso, donde la degradación del paisaje está siendo impulsada por la urbanización extrema y sus efectos colaterales, como la acumulación de basura y la erosión costera, entre otros.

Por otro lado, la limitada información disponible sobre los humedales en Chile agrava esta situación, permitiendo que las amenazas específicas avancen rápidamente y contribuyan al deterioro de estos ecosistemas a lo largo del país (Figueroa et al., 2009).

En este contexto, Cooper (1994) clasifica los sistemas estuarinos de la zona central de Chile como parte del dominio de procesos fluviales, destacando la influencia de los ríos en la dinámica de estos ecosistemas. Según Contreras-López *et al*. (2017) en la Región de Valparaíso los humedales cubren 307,39 ha del total de la superficie de la región. Entre la diversidad de humedales de la región de Valparaíso, se encuentran los del tipo albufera, que son lagunas salobres costeras, con conectividad estacional con el mar. Son altamente eutróficas, debido a las cargas de sal provenientes del mar. Algunos ejemplos de albufera es la laguna del estuario El Yali (33°44'59.43"S/ 71°42'7.12"O) y la laguna del Humedal Urbano de Mantagua (32°53'4.90"S/ 71°30'34.69"O) (Figueroa et al., 2009).

El humedal Pichicuy (32°20'49.03"S/ 71°26'47.53"O), que se encuentra en el extremo sur de la localidad de Pichicuy, tiene una superficie aproximada de 18 ha y está ubicado en terreno fiscal. Se describe como una laguna estuarial litoral posicionada en la desembocadura de la cuenca del estero Huaquén, que se ubica en la zona sureste de la localidad Pichicuy (Muñoz, 2018). Posee gradientes de salinidad y de nivel de agua inestables durante el año, producto de la influencia de las corrientes de flujo de las mareas, del caudal y escorrentía subterránea provenientes del estero Huaquén cuenca arriba, la influencia del oleaje y el viento (Fariña & Camaño, 2012)

El humedal de Salinas de Pullally (32°24'47.13"S/ 71°24'41.77"O) se encuentra ubicado en el estuario que constituye la desembocadura de los ríos Ligua y Petorca. Gran parte se ubica en la comuna de Papudo e incluye sectores limítrofes de la comuna de La Ligua. Se constituye por distintos ecosistemas, como lo son sus extensos campos dunares, zonas de bosques, matorral esclerófilo, humedal, salares y zona costera, lo cual entrega condiciones ambientales naturales que permiten una alta concentración de fauna, entre ellas, se destaca la presencia y punto de descanso y alimentación de aves migratorias que llegan a la costa chilena desde los trópicos de Sudamérica y el hemisferio norte (Grupo Huala, 2018).

El Humedal de Mantagua forma parte de una red de humedales costeros de la Eco-región del Mediterráneo Chileno, uno de los 36 hotspots de biodiversidad reconocidos a nivel mundial. Es una cuenca fluvial, cuyos cauces dependen, en buena medida, de los aportes de materia, agua y nutrientes (Elogesi & Sabater, 2009, Negrete et al., 2015). El humedal se conecta con el mar durante las crecidas del estero Quintero y Mantagua, que son de origen pluvial y drenan los cerros de la cordillera de la costa (Negrete et al., 2015)

El humedal de la desembocadura del río Aconcagua tiene un régimen hídrico asociado a la cuenca del río Aconcagua, que nace a 1.430 m de altitud y recorre 142 km hasta llegar a la desembocadura, en el océano Pacífico. El régimen del río Aconcagua es pluvio-nival, registrándose dos crecidas importantes durante el año, una en invierno por las precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto, principalmente, y otra en primavera, producto de los deshielos. En esta zona, los procesos del humedal están determinados principalmente por el caudal del río, la marea y el viento local (Contreras López et al., 2017)

Amenazas que afectan a los humedales

Los humedales son uno de los ecosistemas más amenazados a nivel global debido a la combinación de presiones humanas directas e indirectas. Las actividades humanas, como la construcción de presas, interrumpen la conectividad y el suministro de sedimentos, mientras que el cambio climático agrava la situación al generar aumentos de temperatura, acidificación, alteraciones en las precipitaciones y el nivel del mar, y procesos de desecación en sitios clave para la conservación de la flora y fauna (Newton et al., 2020; Xi et al., 2021). Según Figueroa et

al. (2009), estas alteraciones modifican la hidrología, el tamaño y las comunidades biológicas de los humedales, comprometiendo su funcionalidad y capacidad para sostener la biodiversidad.

La urbanización representa una de las principales amenazas para los humedales. Históricamente, los asentamientos humanos se han establecido cerca de estos ecosistemas debido a la disponibilidad de recursos clave como agua dulce, alimentos y refugio (Convención de Ramsar, 2013). Sin embargo, el rápido crecimiento urbano durante el siglo XX ha transformado drásticamente el paisaje, afectando tanto áreas seminaturales como humedales. Esto ha provocado su drenaje, relleno, contaminación y conversión en terrenos agrícolas o urbanos, generando una pérdida del 35% de los humedales naturales entre 1970 y 2015 (Convención sobre los Humedales, 2021, Rangel-Buitrago, 2018). Además, Vitousek (1997) y Niemelä et al. (2010) destacan que este crecimiento urbano ha incrementado el consumo de recursos naturales y reducido la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la provisión de agua y alimentos.

En Chile, el 87,8 % de la población vive en áreas urbanas, lo que ha resultado en una pérdida continua de humedales urbanos debido a la exclusión de estos ecosistemas en los planes de ordenamiento territorial y a una gobernanza ineficaz (Censo 2017). Según el MMA (2011), esta situación refleja una subvaloración de los bienes y servicios ambientales que proveen los humedales, como el almacenamiento de agua y la protección contra inundaciones. Estos problemas administrativos como la exclusión de los humedales en los planes de ordenamiento territorial, junto con la expansión de las ciudades, han generado la transformación de cauces naturales en canales artificiales, acumulación de basura, y pérdida de biodiversidad (Paredes, 2010; SAG, 2004). A nivel costero, las altas concentraciones de población y actividades económicas incrementan la presión sobre los humedales, agravada por la escasez de sedimentos, la subsidencia del terreno y los efectos del cambio climático (Newton et al., 2020).

Además, la degradación de los humedales no solo implica la pérdida de biodiversidad, sino también la disminución de los bienes y servicios ecosistémicos que estos proveen, como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la protección frente a inundaciones (Newton et al., 2020; MMA, 2011). Ecosistemas costeros de carbono azul, como las marismas, los manglares y las praderas de pastos marinos, actúan como importantes sumideros de carbono,

pero su degradación puede convertirlos en emisores significativos de gases de efecto invernadero (Newton et al., 2020; Xi et al., 2021). Según Taillardat et al. (2020), la restauración de estos ecosistemas no solo es esencial para mitigar el cambio climático, sino también para garantizar su capacidad de sustentar comunidades humanas y ecológicas.

Finalmente, muchas especies de flora y fauna que habitan los humedales enfrentan altos niveles de amenaza, principalmente debido al cambio en el uso de suelo, la contaminación y el cambio climático, que altera la hidrología y estructura de estos ecosistemas (Figueroa et al., 2009; Paredes, 2010). Estos impactos, combinados con fenómenos como la erosión, la hipoxia y el hundimiento del terreno, comprometen gravemente la sostenibilidad de los humedales a largo plazo y generan desafíos económicos y sociales significativos para las comunidades ribereñas que dependen de ellos (Newton et al., 2020; SAG, 2004).

Normativa nacional e internacional para su conservación

La conservación y el uso racional de los humedales son fundamentales para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, ya que contribuyen al logro de varias de sus 169 metas. Estos ecosistemas están directamente relacionados con el ODS 6: Agua limpia y saneamiento, al actuar como filtros naturales que mejoran la calidad del agua. En el caso del ODS 13: Acción por el clima, los humedales desempeñan un rol como grandes sumideros de carbono y barreras naturales frente a desastres climáticos y así amortiguar los efectos del cambio climático. Por otro lado, los humedales costeros son esenciales para el ODS 14: Vida submarina, ya que proporcionan nutrientes y refugio a diversas especies costeras, mientras que, para el ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, funcionan como espacios de refugio y alimentación para especies migratorias y endémicas. Además, contribuyen al ODS 3: Salud y bienestar, sirviendo como espacios recreativos que promueven la salud mental y el bienestar psicosocial. En cuanto al ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, los humedales apoyan el desarrollo económico mediante el ecoturismo sostenible y reducen el riesgo de inundaciones en entornos urbanos. Finalmente, también respaldan el ODS 2: Hambre cero, regulando el ciclo del agua que sustenta la producción agrícola en las áreas circundantes (Convención sobre los Humedales, 2021)

Los Humedales de Importancia Internacional, designados bajo la Convención Ramsar, son ejemplos de gestión sostenible de ecosistemas en diversos contextos. Actúan como laboratorios vivos que demuestran cómo los humedales pueden ser manejados eficazmente bajo diferentes condiciones ambientales, regímenes de presión y sistemas de gobernanza (Convención sobre los Humedales, 2021). Esta convención destaca la importancia de los humedales no solo para la conservación de la biodiversidad, sino también para el bienestar de las comunidades humanas que dependen de sus servicios ecosistémicos.

En cuanto al marco legislativo y normativo, existen diversos cuerpos legales nacionales e internacionales que refuerzan la protección de los humedales. La Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, ratificada por Chile mediante el Decreto Supremo N° 259 de 1980, define como patrimonio natural aquellos espacios que son hábitat de especies amenazadas o que poseen un valor excepcional para la ciencia, la conservación o la belleza natural. Esta convención subraya la necesidad de conservar estos espacios en su estado natural y evitar su degradación.

En Chile, la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (1994) establece que cualquier proyecto o actividad susceptible de causar impacto ambiental debe someterse a un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Específicamente, el artículo 11° de la ley dispone que cualquier proyecto ubicado en o cerca de humedales protegidos deberá someterse a este proceso, garantizando así que las actividades humanas no alteren negativamente estos valiosos ecosistemas.

Por otro lado, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, a través del Decreto Supremo N° 47 de 1992 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, establece áreas de protección para recursos naturales y culturales de valor, que incluyen los bordes costeros, marítimos, lacustres y fluviales. Estas áreas se benefician de un régimen jurídico específico que asegura su resguardo y conservación.

La Ley 21.202 (2020) sobre Humedales Urbanos es otro avance importante, pues establece la delimitación de los humedales urbanos y los integra en los Planes Reguladores Comunales. Esta ley también fomenta la participación ciudadana en la creación de ordenanzas municipales, en la formación de comités técnicos y en la implementación de Planes de Gestión Integral de

Humedales. Además, facilita el acceso a financiamiento público para mejorar la gestión y restauración de humedales a través de proyectos como el Fondo de Protección Ambiental.

Finalmente, en el contexto del cambio climático, la Ley 21.455 (2022), conocida como la Ley Marco de Cambio Climático, establece un marco jurídico para enfrentar los desafíos del cambio climático y alcanzar la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050. Esta ley demanda al Ministerio de Obras Públicas la elaboración de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos para cada cuenca del país, con el fin de identificar brechas hídricas, evaluar el balance hídrico y proponer medidas de gestión. Estos planes se revisan cada cinco años y se actualizan cada diez, asegurando una planificación hídrica sostenible y adaptada a las necesidades cambiantes del país.

Residuos antropogénicos e impacto en el mundo

Dentro de las amenazas más significativas para los ecosistemas se encuentran los residuos antropogénicos (RA), que representan un peligro creciente a nivel global (Bergman et al., 2015; Ergas et al., 2022; Rojo-Nieto et al., 2017). En las últimas décadas, los RA han sido reconocidos como indicadores de otras formas de contaminación que plantean serios riesgos para los organismos marinos (Zhou et al., 2011).

Estos residuos están compuestos por una amplia variedad de materiales, como vidrio, papel, cartón, metal, tela, desechos relacionados con la pesca, madera, filtros de cigarrillos, residuos sanitarios provenientes de aguas residuales, cuerdas, juguetes, cables y ropa, entre otros. Sin embargo, múltiples estudios han confirmado que los plásticos constituyen más del 80 % de los RA (Rojo-Nieto et al., 2017). Los plásticos continúan acumulándose en los ecosistemas de agua dulce (Wagner et al., 2014) y marinos (Paduani, 2020), provocando consecuencias preocupantes como la muerte de aves (Da Costa et al., 2020) y tortugas (Yaghmour, 2020).

Dado el impacto documentado de los plásticos sobre la biodiversidad y la salud humana (Comisión Europea, 2019), es importante abordar de manera prioritaria esta problemática (OMS, 2019; Campanele et al., 2020). Según Zhou et al. (2011), el origen de los RA no se atribuye predominantemente a fuentes oceánicas, sino a fuentes terrestres, que representan en promedio el 90 % del total. Este dato refleja la influencia de las actividades humanas en tierra y la presencia

de residuos característicos de los desechos transportados desde zonas terrestres (Aimone-Arredondo, 2018).

Diversos estudios han destacado la relevancia de los ríos como fuentes principales de contaminación en playas y costas, especialmente por plásticos y otros desechos (Williams & Simmons, 1997; Galgani et al., 2000; Claessens et al., 2011; Cole et al., 2011). En el caso de los ríos en Chile, es frecuente la presencia de residuos plásticos y basura de pequeño tamaño. Sin embargo, aún se requiere profundizar en investigaciones para comprender completamente la magnitud y los tipos de desechos presentes en sistemas fluviales tanto a nivel global como regional (Ergas & Thiel, 2022).

Los ríos y sus riberas actúan como acumuladores y transportadores de RA hacia el medio marino (Bletter et al., 2018; Ergas & Thiel, 2022; Rech et al., 2014). La mayoría de estos residuos provienen de actividades humanas en las riberas, aunque también se registran grandes acumulaciones originadas por vertimientos ilegales de residuos domiciliarios o industriales (Rech et al., 2014; Ergas & Thiel, 2022). De hecho, a nivel mundial se estima que el 80% de los RA de las playas tiene su origen en los ríos más cercanos (Araújo & Costa, 2007a).

En este contexto, los programas de vigilancia de RA son una herramienta de gran utilidad, ya que permiten identificar los tipos, las fuentes y la magnitud del problema, proporcionando además un marco para diseñar estrategias de gestión orientadas a la reducción y prevención de esta contaminación (Zhou et al., 2011).

Por otro lado, se observa que muchas empresas han comenzado a cambiar su actitud frente al cambio global, la pérdida de biodiversidad, la contaminación por plásticos y la degradación de la tierra y el agua. Este cambio responde a un creciente reconocimiento de que la sostenibilidad ambiental no solo es esencial, sino que también puede representar una oportunidad de negocio (Convención sobre los Humedales. 2021).

Impacto de los residuos domésticos e industriales a nivel nacional

En estudios previos, se ha sugerido que la basura en las playas chilenas y en las aguas costeras proviene de fuentes locales, incluidos los ríos (Bravo et al., 2009; Hinojosa et al., 2011; Thiel et

al., 2013). Las fuentes de basura costera y varían según la región: en el sur de Chile, la mayor parte de la basura flotante está relacionada con las operaciones de acuicultura (Hinojosa & Thiel, 2009), mientras que en el centro de Chile los ríos actúan como un vector, transportando basura desde fuentes interiores hacia la costa (Rech et al., 2014).

Es posible inferir que las proporciones relativamente altas de basura flotante a corto plazo (papel y colillas de cigarrillos) en las riberas del río Elqui y en sus playas correspondientes son el resultado de la basura arrojada directamente por turistas, campistas y bañistas (Rech et al., 2014).

Los elementos flotantes persistentes, en particular los plásticos, son los elementos de basura más abundantes a lo largo de las riberas de los ríos y playas chilenas, lo que concuerda con los hallazgos de estudios previos en ríos, riberas y playas de varias partes del mundo (Williams & Simmons, 1999; Derraik, 2002; Carson et al., 2013; Thiel et al., 2013).

Las altas proporciones de plásticos y poliestireno en las riberas y en las playas costeras del río Maipo indica su origen ribereño. Este hallazgo no es sorprendente, considerando que el Mapocho, un río tributario del Maipo, fluye directamente a través de la capital de Chile, Santiago. Parte de la basura generada por la industria local y otras actividades humanas se descarga en este río sin un tratamiento mayor (Lehn et al., 2011).

En contraste, la basura costera en Rapa Nui es casi exclusivamente de origen exógeno, como lo evidencia la ausencia de acumulaciones de basura doméstica, la elevada proporción de desechos pesqueros entre los residuos marinos y la presencia significativa de microplásticos (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013). Se sugiere que estos desechos llegan a las costas de Rapa Nui debido a su acumulación y transporte dentro del Giro Subtropical del Pacífico Sur (Eriksen et al., 2013; Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013).

La proximidad a las zonas pobladas, los tipos de residuos y la acumulación de basura en las partes altas de las playas señalan a los visitantes como una de las principales fuentes de basura costera en Chile continental (Thiel et al., 2003; Bravo et al., 2009). En dicho estudio, se encuestó a la comunidad aledaña a las playas para conocer su opinión sobre el origen de los desechos, y la mayoría de los participantes identificó correctamente esta fuente. Además, los residuos sólidos mal gestionados en las ciudades costeras constituyen otra importante fuente de contaminación en

el entorno costero (Thiel et al., 2011). Se estima que el 80% de la basura marina en el territorio continental chileno proviene de fuentes terrestres (Rovira, 2006), lo que subraya el carácter doméstico de este problema.

Métodos utilizados para el estudio de Residuos en humedales y su efecto en su calidad ambiental

La Comisión OSPAR es una organización intergubernamental creada en 1992 a partir de la fusión de los convenios de Oslo (1972) y París (1974), con el objetivo de proteger el medio ambiente marino del Atlántico Nordeste. Sus 15 países miembros y la Unión Europea trabajan para reducir la contaminación marina, conservar la biodiversidad, combatir la basura marina y adaptarse al cambio climático. Entre sus iniciativas más destacadas está el Programa de Monitoreo y Evaluación de la Basura Marina (CEMP), que estandariza el análisis de los residuos en el medio marino. Además, OSPAR promueve la creación de áreas marinas protegidas y estrategias para minimizar el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas marinos. Este enfoque práctico y rentable no solo respalda la implementación de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (MSFD), sino que también contribuye al logro de un descriptor de basura marina que garantice el Buen Estado Ambiental (BEA) de los ecosistemas costeros, alineado con los objetivos de sostenibilidad ambiental (OSPAR Commission, 2010).

El método de análisis de residuos en playas propuesto por OSPAR utiliza un enfoque estandarizado para monitorear la basura marina en playas. Primero, se definen las unidades de muestreo, que pueden ser secciones de 100 m, donde se registran todos los ítems de basura, y una sección de 1 km, donde se monitorean residuos más grandes (mayores de 50 cm), si es que la playa lo permite. Las playas se inspeccionan al menos dos veces al año para garantizar consistencia. Durante los monitoreos, los desechos recolectados son clasificados según una guía fotográfica, registrados en formularios estandarizados y dispuestos adecuadamente. Los datos recolectados son enviados a una base central para análisis y comparación, lo que permite identificar tendencias, evaluar la efectividad de las políticas y diseñar medidas de mitigación (OSPAR Commission, 2010)

El monitoreo incluye la recolección de todos los desechos visibles en las playas mayores a 5 mm, excluyendo los microplásticos, y se lleva a cabo siguiendo un análisis sistemático basado en

series temporales. Este análisis considera la abundancia y composición de desechos agrupados en categorías específicas, tipos individuales, grupos temáticos y el recuento total de ítems registrados en los sitios de estudio de OSPAR. De esta manera, se busca comprender mejor la magnitud del problema, identificar patrones espaciales y temporales, y diseñar estrategias de manejo más precisas y efectivas para abordar las fuentes de contaminación (OSPAR Commission, 2020).

El monitoreo de los residuos permite levantar información sobre las cantidades, tendencias y fuentes de los desechos marinos. Estos datos permiten orientar medidas de mitigación más eficaces y evaluar el impacto de leyes y regulaciones existentes, como las relacionadas con plásticos de un solo uso. En última instancia, el objetivo de este monitoreo es reducir la entrada de basura al medio marino, protegiendo tanto la biodiversidad como los servicios ecosistémicos y los usos humanos del entorno costero (OSPAR Commission, 2010).

En base a los trabajos de Alkalay et al., (2007), se desarrolló el Índice de Costa Limpia (ICL), una herramienta diseñada para evaluar la limpieza de las playas de manera objetiva y estandarizada. Este índice utiliza la medición de desechos plásticos como indicador principal, lo que permite evaluar el estado de limpieza de una playa de forma sencilla y minimizando el sesgo del evaluador. Además, el ICL se implementa como herramienta central en el programa "Costa Limpia", un enfoque a largo plazo que busca lograr playas más limpias a través de diversas estrategias, incluyendo el aumento de la conciencia pública y la promoción de actividades de conservación

Otro índice utilizado en el monitoreo de playas es el Índice de Artículos Peligrosos (IAP) propuesto por Rangel-Buitrago et al. (2019). Este índice evalúa el riesgo de exposición a elementos peligrosos, como objetos punzantes o tóxicos, en zonas costeras. El IAP permite evaluar la calidad ambiental de la playa a través de cinco categorías, que van desde la clase I, que indica un "sitio seguro - no se observa riesgo de artículos peligrosos" hasta la clase V, que corresponde a un "sitio extremadamente peligroso - la mayor parte de la playa está cubierta por artículos peligrosos". Esta herramienta proporciona una evaluación crucial para identificar áreas de alto riesgo y tomar medidas preventivas adecuadas en las playas.

El Índice de Estado Ambiental (IEA), desarrollado por Schulz et al. (2013), es una herramienta que mide la calidad ambiental de las playas en función de los daños, tanto directos como indirectos, que los desechos marinos causan a la salud de los organismos costeros. Este índice utiliza una escala de 1 a 4, donde 1 representa un estado "Bueno", 2 "Regular, 3 "Insatisfactorio" y 4 "Malo". En el estudio que nos ocupa se presenta un primer borrador de un sistema de evaluación junto con evaluaciones estadísticas del conjunto de datos de monitoreo de basura en playas de OSPAR, ambos inspirados en estudios precursores dentro de otras convenciones internacionales sobre aguas marinas y la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Muxika et al., 2007; Voigt et al., 2006).

Protocolos de monitoreo de residuos

La protección y el uso racional de los humedales son importantes en las estrategias climáticas globales debido a su capacidad para mitigar los efectos del cambio climático, preservar la biodiversidad y garantizar los servicios ecosistémicos. En este marco, es recomendable restaurar áreas degradadas para recuperar sus funciones ecológicas y sus beneficios para las comunidades humanas (Taillardat et al., 2020).

Un ejemplo de este enfoque es el Plan de Gestión Integral (PGI) del Humedal Urbano de Mantagua, desarrollado por el MMA y ONU Medio Ambiente (2023). Este plan propone una estrategia para abordar la contaminación por residuos inorgánicos, con la meta de reducir en un 30% la evidencia de basura como plásticos y vidrios en un plazo de cinco años. Para ello, plantea restringir accesos no autorizados y utilizar la georreferenciación para identificar y monitorear puntos críticos de contaminación en áreas como humedales, playas y dunas. Sin embargo, el plan carece de acciones concretas o metodologías claras para realizar el monitoreo y seguimiento efectivo de la basura, lo que limita su capacidad para medir el progreso y garantizar la efectividad de las medidas propuestas.

De manera similar, el estudio de Mellado Tigre (2008) sobre el Humedal de Batuco identifica la basura como una amenaza significativa para este ecosistema. Aunque el documento destaca la importancia de restringir actividades humanas perjudiciales, fomentar la participación comunitaria y realizar monitoreos periódicos, no especifica métodos o herramientas precisas para

el seguimiento de los desechos sólidos. Esto evidencia una brecha crítica en la implementación de estrategias efectivas para la gestión de la basura en estos ecosistemas.

En ambos casos, la falta de acciones concretas para el monitoreo de los residuos representa una limitación. Si bien las estrategias generales son un avance en la dirección correcta, la ausencia de procedimientos técnicos detallados dificulta la evaluación del impacto de las medidas y la obtención de resultados tangibles. Es imprescindible desarrollar e implementar metodologías específicas y estandarizadas que permitan un seguimiento riguroso y constante de la basura en humedales, garantizando así la efectividad de los planes de manejo y la conservación sostenible de estos ecosistemas.

En la región de Valparaíso, los humedales costeros enfrentan una creciente presión derivada de los residuos antropogénicos (RA), los cuales son una amenaza para la funcionalidad ecológica de estos ecosistemas. Estos residuos, compuestos principalmente por plásticos, metales, colillas de cigarro y cartón, no solo alteran los hábitats de flora y fauna, sino que también comprometen los servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica, la captura de carbono y la protección contra inundaciones. Esta problemática está directamente relacionada con la actividad humana, donde la urbanización, la gestión inadecuada de desechos y la falta de planificación territorial contribuyen a la acumulación de estos materiales, convirtiendo a los humedales en receptores finales de residuos provenientes de áreas urbanas y ríos cercanos.

El nivel de intervención antrópica y urbanización que rodea a cada humedal tiene una influencia directa en la cantidad y tipo de residuos encontrados. Sin embargo, la limitada disponibilidad de datos estandarizados sobre los tipos, fuentes y magnitud de los residuos en estos ecosistemas dificulta el desarrollo de estrategias de manejo efectivas. Por ello, resulta crucial generar información detallada que permita clasificar los humedales según su grado de intervención antrópica y diseñar protocolos de monitoreo que aseguren su conservación y sostenibilidad a largo plazo.

Hipótesis

Uno de los factores que promueve la degradación ambiental de los humedales costeros es la contaminación por residuos de origen antropogénico. Se espera que humedales que tengan un mayor grado de intervención antrópica, presenten niveles más altos de contaminación por residuos de origen antropogenicos y una peor calidad, en comparación de aquellos que se encuentran aislados y con un menor grado de urbanismo.

Objetivo general

Evaluar la calidad ambiental y el grado de intervención antrópica de 19 humedales costeros en la Región de Valparaíso y desarrollar una propuesta de protocolo para su monitoreo.

Objetivos específicos

1. Clasificar los humedales costeros de la Región de Valparaíso según el grado de intervención antrópica.

2. Cuantificar los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros con diferentes grados de intervención de la Región de Valparaíso.

3. Evaluar el estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos.

4. Desarrollar y aplicar protocolo para el monitoreo, de los residuos sólidos en humedales costeros y validar en un caso de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Clasificación de los humedales costeros de la Región de Valparaíso

Se consideraron los 20 humedales costeros de la región de Valparaíso (Tabla 1), este grupo de humedales fue sometido a una clasificación en base al Índice de Eco-Erosión (IEE) (Lin *et al*., 2019), que evalúa el estrés ecológico causado por la expansión urbana, se delimitaron los parches naturales y los parches urbanos. luego se calculó el nivel de sobreposición entre los parches. Aplicando los rangos de valores del Índice de Eco-Erosión (Tabla 2) se agruparon los humedales según su nivel (Tipo I a V). De cada uno de estos grupos se seleccionaron los humedales costeros que fueron estudiados.

Tabla 1. Humedales costeros de la Región de Valparaíso y las comunas a que pertenecen

Humedales	Comuna	Latitud	Longitud
Los Molles	La Ligua	32°14'10.93"S	71°30'28.58"W
Pichicuy	La Ligua	32°20'49.03"S	71°26'47.53"W
Las Salinas de Pullally	La Ligua	32°24'47.13"S	71°24'41.77"W
La Laguna de Papudo	Papudo	32°30'1.52"S	71°26'16.77"W
Cachagua	Zapallar	32°35'3.21"S	71°26'52.36"W
La Laguna de Zapallar	Zapallar	32°37'54.38"S	71°25'45.66"W
Estero Campiche	Puchuncavi	32°44'43.54"S	71°29'8.01"W
Mantagua	Quintero	32°53'4.90"S	71°30'34.69"W
Aconcagua	Concón	32°55'4.08"S	71°30'30.79"W
Las Salinas de Viña	Viña del mar	32°59'29.35"S	71°32'52.77"W
Reñaca	Viña del mar	32°58'24.49"S	71°32'42.02"W
Marga Marga	Viña del mar	33° 1'10.83"S	71°33'42.28"W
Laguna Verde	Valparaíso	33° 6'4.66"S	71°40'12.68"W
Quintay	Casablanca	33°10'58.32"S	71°41'6.56"W
Tunquen	Casablanca/Algarrobo	33°16'43.93"S	71°39'49.76"W
El Membrillo	Algarrobo	33°20'42.15"S	71°39'5.63"W
San Jerónimo	Algarrobo	33°21'18.83"S	71°39'22.77"W
Estero de Córdova	El Tabo	33°26'42.08"S	71°40'43.74"W
Laguna de Cartagena	Cartagena	33°31'49.69"S	71°36'10.20"W
Rio Maipo	San Antonio	33°36'49.22"S	71°37'41.62"W

Tabla 2. Rangos de valores según el Índice de Eco-Erosión (IEE) sus niveles.

IEE	Tipo	Descripción
0 - 0.2	I	Extremadamente Bajo
0.2 - 0.4	II	Bajo
0.4 - 0.6	III	Medio
0.6 - 0.8	IV	Alto
0.8 - 1	V	Extremadamente Alto

2.2. Cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros

Se realizó una limpieza de playa en julio de 2023, posterior a los eventos de grandes lluvias y durante el mes de octubre del año 2023, se realizó el muestreo, recolectando RA acumulados desde la limpieza de playa inicial hasta la campaña de muestreo. Para el muestreo se utilizó el método de monitoreo de basura marina en playas de OSPAR (Oslo Paris Convention, 2010), edición 1.0. Se determinaron polígonos de 100 m de largo con un ancho de 20 m desde la rivera del humedal hacia la playa. Finalmente, con previa coordinación con los administradores de los humedales, se formaron equipos para realizar un censo de los RA que se encuentren en el área determinada, con un esfuerzo estándar. Los RA recolectados fueron almacenadas en bolsas rotuladas con la información del lugar, el sector y la fecha del muestreo.

Posterior a la campaña de muestreo, se clasificaron los RA según la guía OSPAR y la guía ilustrada de las distintas clasificaciones de RA, en 10 ítems y 41 subitems (Taba 3). Los RA ya clasificados se cuantificaron por categorías según la guía de OSPAR y se registraron las unidades y su peso en g. Los datos obtenidos fueron procesados en el programa Microsoft Excel. A partir de estos datos se calculó la densidad de RA por sector, la densidad total (el total de ítems en toda el área estudiada) y densidad promedio (es el promedio de la densidad de una categoría en todos los sectores) para cada categoría.

Tabla 3. Clasificación de los Residuos Antropogénicos (RA) en ítem y subitem de acuerdo con OSPAR (2010).

OSPAR ID	Ítem/Subitem	OSPAR ID	Ítem/Subitem	OSPAR ID	Ítem/Subitem
	Plásticos		**Vidrio**		**Tela**
2	Bolsas plásticas	91	Botellas	54	Ropa
112	Extremos de bosas plásticas	93	Otros artículos de vidrio	59	Otros textiles
4	Bebidas (botellas, envases y bidones).		**Escombros**		**Papel/Cartón**
6	Contenedores de comida rápida	96	Material de construcción	60	Bolsas
15	Tapas		**Residuos sanitarios**	61	Cartón
16	Encendedores	98	Bastoncitos de algodón	118	Cartón Tetrapak
20	Juguetes	99	Toallas sanitarias	62	Cajetilla de cigarros
21	Tazas	102	Mascarilla	65	Tazas
22	Cubiertos / bandejas / pajitas	102	Otros artículos médicos	67	Otros papeles
25	Guantes		**Metal**		**Colillas de cigarros**
31	Cuerda (diámetro más de 1 cm)	77	Tapas de botella	63	Colillas de cigarros
32	Cuerda (diámetro inferior a 1 cm)	78	Latas de bebida		**Madera Procesada**
35	Línea de pesca	81	Envoltorios de papel de aluminio	68	Corchos
44	Zapatos / sandalias	89	Otras piezas metálicas <50 cm.	72	Palos de helados
117	Piezas de plástico / poliestireno 0 - 2,5 cm.		**Parafina o piezas de cera**	74	Otras maderas <50 cm
46	Piezas de plástico / poliestireno 2,5 cm> <50 cm	109	1-10 cm	75	Otra madera> 50 cm

2.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos

En este estudio se utilizaron tres índices para evaluar la calidad ambiental. Primero el Índice de Limpieza Costera (ILC) desarrollado por Alkalay *et al.* (2007):

$$ILC = \frac{\sum Total\ RA\ Items}{Area} * K$$

Este índice se calcula en base al total de RA en el área de cada sector, luego se multiplica por la constante K que equivale a 20, dándonos un resultado que va desde 0 a más de 20. Los resultados indican el estado de limpieza que presenta la playa en cinco clases diferentes que van desde "Muy limpio" a "Extremadamente sucio" según la escala de Alkalay *et al.* (2007) (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación del índice de limpieza costera (ILC) (Alkalay et al., 2007).

ILC	Calidad	Descripción
0–2	Muy limpio	No se ven RA
2.1–5	Limpio	No se ven RA en una gran área
5.1–10	Moderado	Se pueden detectar algunas unidades de RA
10.1–20	Sucio	Muchos RA en la playa
>20	Extremadamente sucio	La mayor parte de la playa cubierta por RA

El segundo es el Índice de Artículos Peligrosos (IAP), que fue descrito por Rangel-Buitrago et al. (2019). El IAP evalúa la calidad ambiental de la playa en base a la cantidad de artículos peligrosos recolectados del total de RA en un área determinada y está basado en la siguiente fórmula:

$$IAP = \frac{\sum Item\ RA\ Peligroso}{\frac{\log 10 \sum Item\ RA\ Total}{Area}} * K$$

Este índice nos permite medir la posibilidad de ser afectado por un artículo peligroso (afilado o tóxico) en una playa. Este se calculó diferenciando los ítems de RA en dos categorías: artículos peligrosos afilados (metal, vidrio y escombros de la construcción) y artículos peligrosos tóxicos (colillas de cigarros, desechos sanitarios y heces). Luego se relaciona con el log10 del total de RA, esto nos da como resultado una clasificación para las playas de cinco tipos diferentes, que van desde “tipo I, no se ven BM peligrosos” a "Tipo V, la mayor parte de la playa está cubierta por RA peligrosos" (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de artículos peligrosos, clasifica las playas en cinco tipos (I a V) según la cantidad de artículos peligrosos presentes.

IAP	Tipo	Descripción
0	I	No se ven RA peligrosos
0.1–1	II	No se ven RA peligrosos en una gran área
1.1–4	III	Se ve una cantidad considerable de RA peligrosos
4.1–8	IV	Mucha RA peligrosos en la playa
>8	V	La mayor parte de la playa cubierta por RA peligrosos

Los resultados obtenidos del ILC y el IAP se integraron en una tabla dinámica siguiendo la técnica de Langford (2006). La tabla fue divida en tres: el área verde representa una playa limpia, con una muy baja probabilidad de encontrarse con RA peligrosos y en donde es necesario tomar medidas de protección para mantener el estado de la playa. El área naranja representa una playa con un nivel de RA moderado, en donde puede llegar a encontrar una cantidad considerable de RA peligrosos y que requiere de acciones de limpieza. El área roja representa playas sucias y extremadamente sucias, con abundantes RA peligrosos en la playa o con gran parte cubierta por RA peligros, este tipo de playas requiere intervención urgente aplicando medidas de restauración (Tabla 6).

Tabla 6. Tabla dinámica en base al análisis por humedal teniendo en cuenta el Índice de Limpieza Costera (ILC)y el Índice de Artículos Peligrosos (IAP).

Análisis por Humedal		IAP				
		I	II	III	IV	V
ILC	Muy Limpio					
	Limpio					
	Moderado					
	Sucio					
	Extremadamente sucio					
		PROTECIÓN		LIMPIEZA		RESTAURACIÓN

Por último, se calculó el Índice de Estado Ambiental (IEA) desarrollado por Schulz *et al.* (2013). Este índice proporciona un indicador que mide la calidad ambiental de las playas en términos de daños indirectos y directos a la salud de los organismos que habitan la playa mediante una escala que va del 1 al 4 (donde 1 = Bueno, 2 = Regular, 3 = Insatisfactorio, 4 = Malo). El IEA usa un valor ponderado denominado peso individual (Pi) para cada ítem encontrado:
Peso = 1 si las categorías de RA causan daños indirectos, pero sin potencial de riesgo directo.
Peso = 1.5 si las categorías de RA causan un impacto directo.

Después de la asignación de estos valores, se creó una tabla de ponderación para las categorías identificadas que se encuentran en el área de estudio. Todos los valores calculados fueron procesados por medio de la siguiente fórmula:

$$IEA = \frac{\sum_{i=1}^{n} pi * xi}{\sum_{i=1}^{n} pi}$$

Donde IEA es el puntaje final como resultado del promedio ponderado de todos los Pi de todos los ítems encontrados en un sector específico, multiplicado por la clase (xi) asignado al sector en función de la presencia y abundancia de esa categoría específica. Cada uno de los sectores serian evaluados de acuerdo con el sistema de clasificación: 1, 2, 3 y 4 correspondientes a bueno, regular, insatisfactorio y malo, respectivamente, que fueron asignados de acuerdo con el número total de artículos encontrados a lo largo de la unidad de muestreo.

2.4. Desarrollo de un protocolo para el monitoreo de residuos sólidos en humedales costeros

Con los resultados obtenidos de las campañas de recolección y el análisis de índices, se estandarizó un método para el seguimiento de residuos antropogénicos (RA) en los humedales estudiados, en colaboración con los administradores de cada sitio. Este proceso incluyó la creación de protocolos para la recolección y clasificación de residuos. Además, se elaboraron planillas prediseñadas en Microsoft Excel que permitieron calcular de manera sencilla los índices utilizados para el monitoreo.

En administraciones mixtas (públicas y privadas), la propuesta de monitoreo fue presentada en instancias de toma de decisiones, como los Comités Comunales de Humedales. Se expusieron los objetivos del proyecto, se realizaron aplicaciones en terreno del protocolo y se presentaron los resultados obtenidos. Finalmente, se propuso la implementación sostenida del protocolo para garantizar un monitoreo continuo y la generación de una base de datos que facilite el seguimiento a largo plazo de los RA.

Análisis estadísticos

Esta etapa se llevó a cabo con ayuda del programa PAST 4.17. Se realizó una clasificación ascendente jerárquica (CAJ) que permitió constituir grupos de ítems similares sobre la base de su descripción por un conjunto de variables cuantitativas generando dendógramas, la matriz de datos utilizada considero a los humedales como observaciones y las cantidades de RA al igual que su biomasas como variables, para este análisis se utilizó la distancia euclidiana para calcular la similitud entre humedales, finalmente se utilizó el método de enlace promedio (UPGMA) para construir el dendógramas.

La prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov (KS) se aplicó a los datos recolectados de los nueve humedales costeros de la región de Valparaíso seleccionados. Los datos utilizados corresponden a las densidades y biomasa de RA, clasificados por categorías. Se compararon las distribuciones entre pares de humedales para identificar diferencias significativas en las composiciones de residuos.

Finalmente se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando humedales como "casos" y categorías de RA como "variables". El ACP analiza las correlaciones entre las

categorías de RA y detecta si los cambios en estas categorías entre los sectores son diferentes. F1 y F2 (que representan la mayoría de la varianza en los datos) se presentaron como gráficos de dispersión (sitios) y gráficos de vectores (categorías). Los patrones de distribución de sitios en los ejes de ACP se interpretaron con respecto a la orientación de los vectores de categoría correspondientes.

3. RESULTADOS

3.1. Clasificación de los humedales costeros de la Región de Valparaíso según el grado de intervención antrópica.

En la tabla 7 se muestran los índices de Eco-Erosión (IEE) aplicados a los 20 humedales costeros de la Región de Valparaíso. Con base en estos resultados, se realizó una selección de los humedales a estudiar, considerando la inclusión de humedales con diferentes índices de eco-erosión. Los humedales seleccionados son: Pichicuy, Pullally, Papudo, Mantagua, Aconcagua, Marga Marga, Tunquén, Estero de Córdova y Cartagena (Fig. 1).

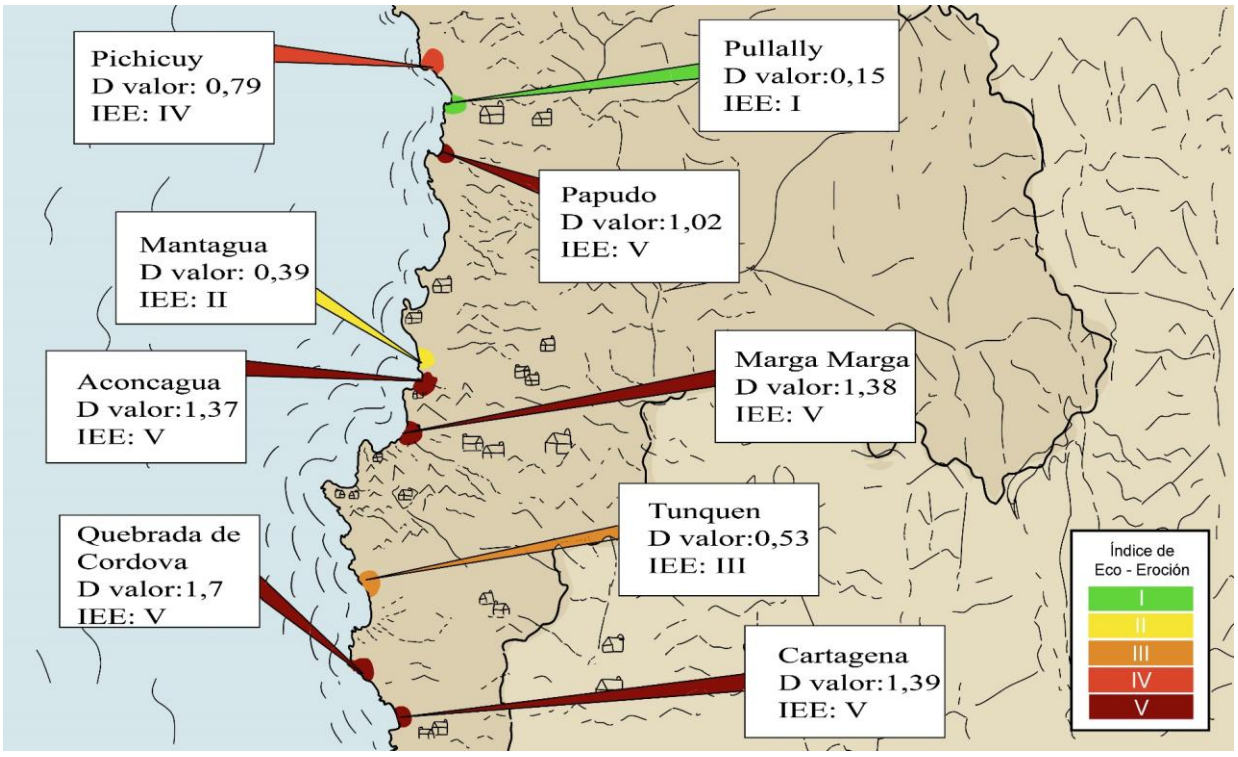


Figura 1. Localización de los Humedales seleccionados y su índice de Eco-Erosión.

Tabla 7. Humedales seleccionados (*) en base a la clasificación del Índice de Eco-Erosión.

Humedal	D valor	Índice de Eco-Erosión
Los Molles	1,28	V
*Pichicuy	0,80	IV
*Pullally	0,16	I
*Papudo	1,02	V
Cachagua	1,02	V
Zapallar	1,34	V
La Greda	1,36	V
*Mantagua	0,40	II
*Aconcagua	1,38	V
Reñaca	1,15	V
Las Salinas	1,03	V
*Marga Marga	1,39	V
Laguna Verde	1,01	V
Quintay	0,65	IV
*Tunquen	0,53	III
El Membrillo	1,03	V
San Jerónimo	1,40	V
*Estero de Cordova	1,71	V
*Cartagena	1,40	V
San Antonio	1,15	V

3.2. Cuantificación los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros con diferentes grados de intervención de la Región de Valparaíso.

En base a la clasificación de los RA en 10 ítems y 41 subítems, el plástico resulta ser el ítem con mayor densidad (Fig. 2a) (Fig. 3a), con 0,31 unidades/m², equivalentes al 70% del total de RA clasificados. Dentro de este ítem, el subítem con más densidad fue las piezas de plástico/poliestireno de 0 a 2,5 cm, con 0,17 unidades/m², lo que representa el 59,9% del total de RA plásticos. El subítem menos denso fueron los guantes, con solo 0,0004 unidades/m², equivalente al 0,14% del total.

El ítem "Colillas de cigarro" registró 0,083 unidades/m², lo que equivale al 16% del total de RA recolectados. El ítem "Metal" resultó con una densidad de 0,002 unidades/m², representando el

4% del total, siendo el subítem "Latas de bebidas" el más abundante, con 39,11% del total del ítem. Las Otras piezas metálicas <50 cm, fue el subítem menos abundantes, representando el 11,96% del total del ítem (Fig. 2a) (Fig. 3a).

En relación con la biomasa (Fig.2b) (Fig. 3b), tenemos que el humedal de Marga Marga es el que tiene una mayor biomasa de RA, con un total de 22.232 g, compuesto principalmente por vidrio (38,66%), madera procesada (25,87%) y plásticos (24,88%). Luego viene el humedal Estero de Córdova con una biomasa total de 8.424 g, el cual se compone principalmente por madera procesada (89,8%). En el caso del Humedal Urbano desembocadura del Aconcagua, presento una biomasa total de 6.572 g, compuesto por madera procesada (40,23%) y vidrio (30,52%) principalmente. El resto de los humedales tienen una biomasa promedio de 1.915,3g (±ds= 963,4g).

Tabla 8. Densidad (unidades/m²) y biomasa de ítemes recolectados en nueve humedades de diferentes áreas en la Región de Valparaíso

Humedal	Área (m2)	Densidad (unidades/m²)	Biomasa (g)
Pichicuy	1.094	0,237	1.229
Pullarla	1.859	0,159	2.618
Papudo	817	0,693	1.062
Mantagua	710	1,655	2.517
Aconcagua	1.411	0,555	6.572
Marga Marga	988	1,135	22.232
Tunquen	1.247	0,222	902
Estero de Córdova	1.919	0,215	8.424
Cartagena	1.174	0,308	3.164
Total	**11.219**	**0,468**	**48.720**

En cuanto a la densidad de RA por área estudiada, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 8) el humedal de Mantagua presentó la mayor densidad con 1,65 unidades/m², mientras que Pullally registró la densidad más baja, con 0,16 unidades/m².

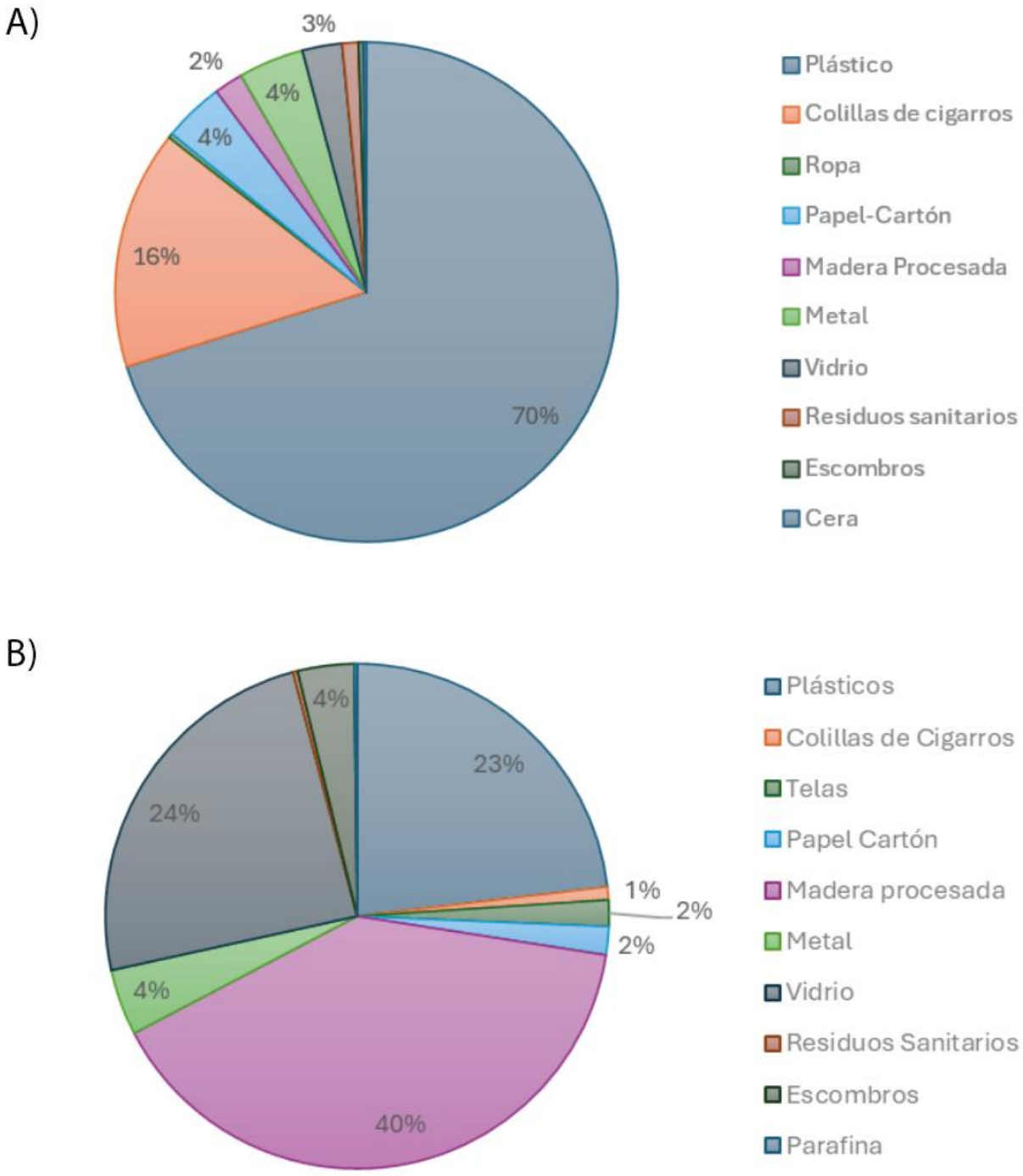
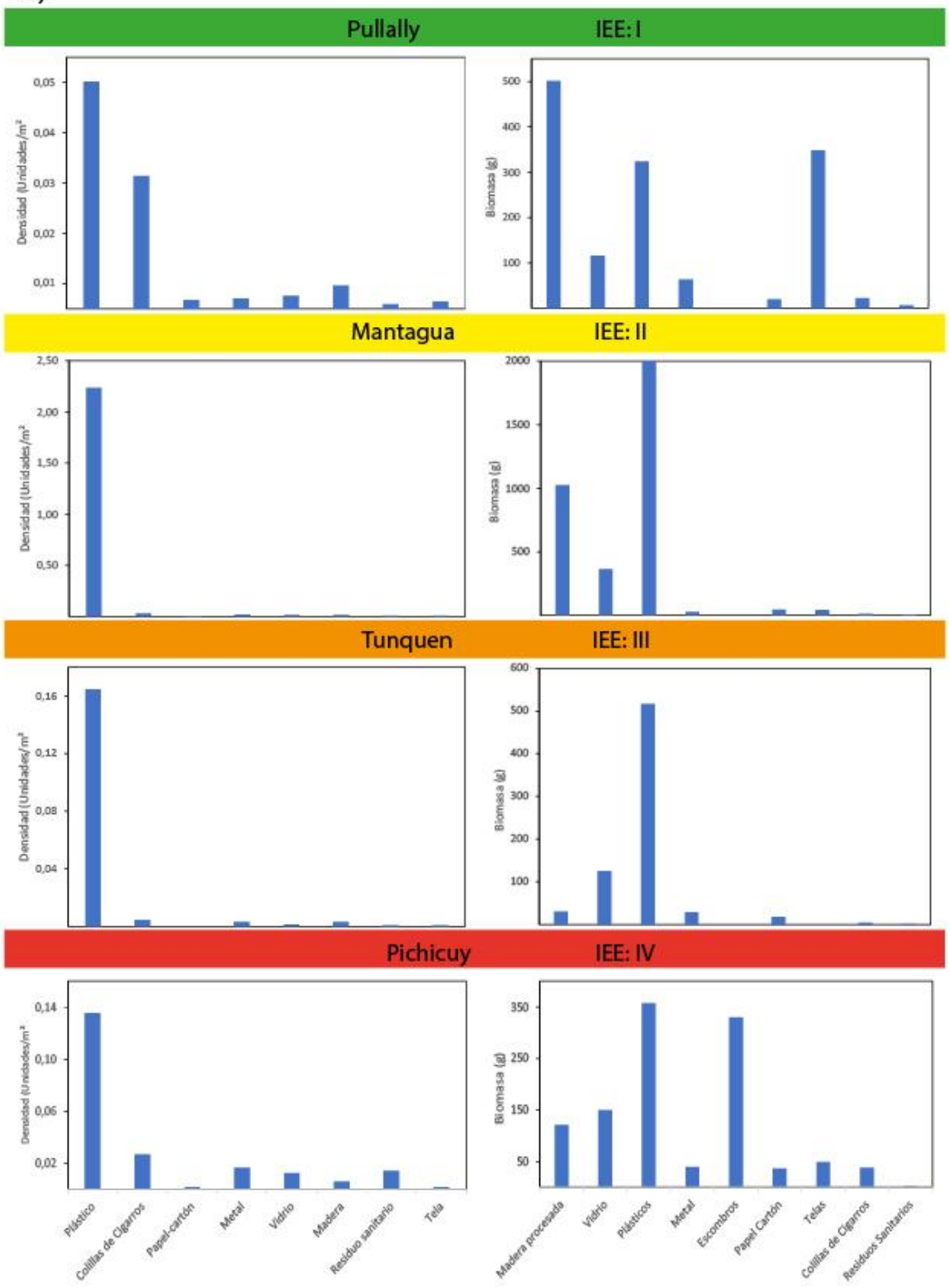


Figura 2. Composición de los residuos antropogénicos recolectados en nueve humedales costeros de la Región de Valparaíso A) Densidades y B) Biomasa

A)


Pullally
IEE: I
Densidad (Unidades/m²)
Biomasa (g)
Mantagua
IEE: II
Densidad (Unidades/m²)
Biomasa (g)
Tunquen
IEE: III
Densidad (Unidades/m²)
Biomasa (g)
Pichicuy
IEE: IV
Densidad (Unidades/m²)
Biomasa (g)
Plástico
Colillas de Cigarros
Papel-cartón
Metal
Vidrio
Madera
Residuo sanitario
Tela
Madera procesada
Vidrio
Plásticos
Metal
Escombros
Papel Cartón
Telas
Colillas de Cigarros
Residuos Sanitarios

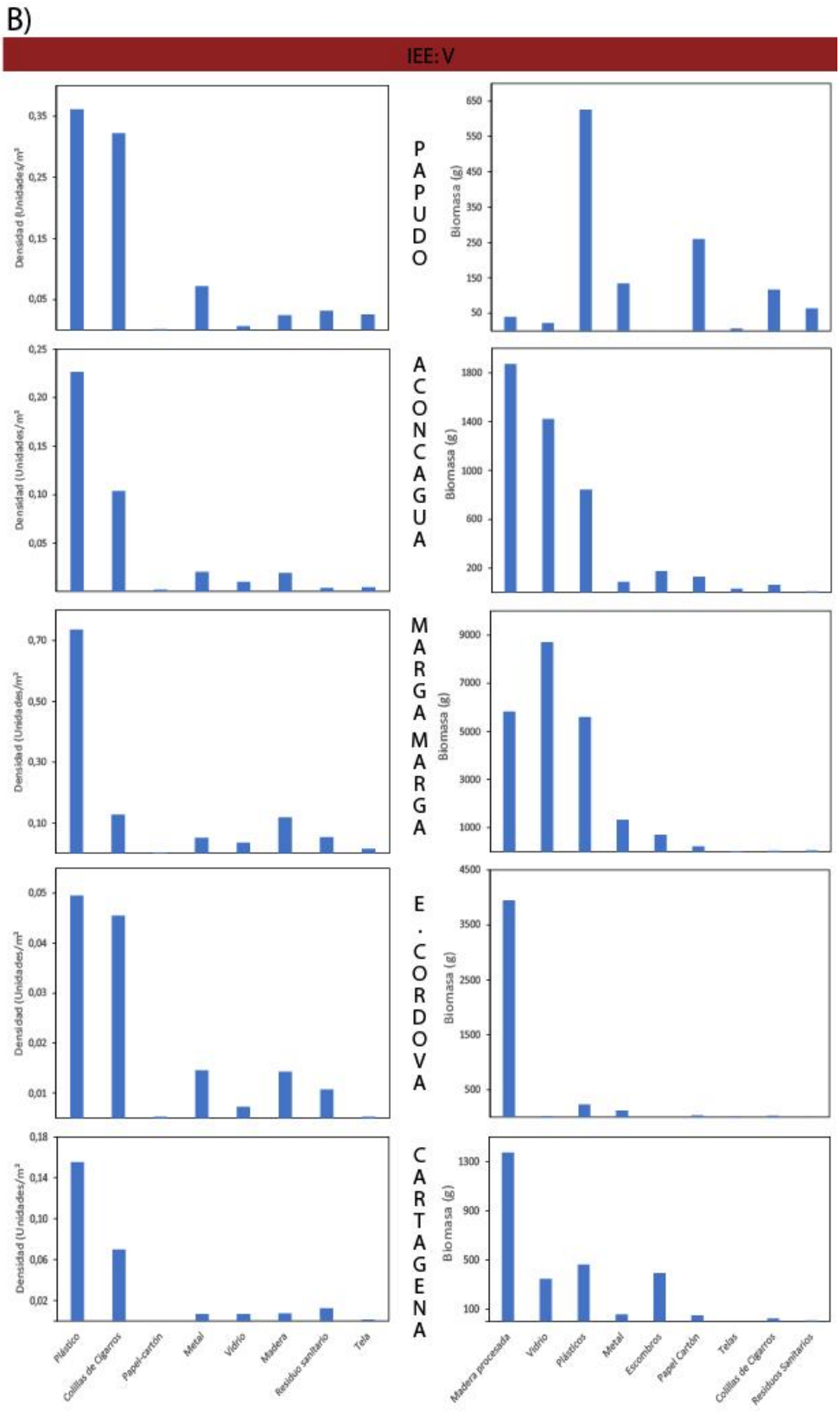


Figura 3. Comparación de la composición de densidad y biomasa por humedal estudiado, agrupados según categoría del IEE, A) Humedales de los grupos IEE I, II, III, IV y B) Humedales del grupo IEE V.

3.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros a través de índices específicos.

En el ICL se obtuvieron 4 humedales en categoría "limpio", 1 en "moderado", 2 en "sucio" y 2 en "extremadamente sucio" (Tabla 8). Según el IAP se registró 1 del tipo I humedal "no se ve RA peligrosos", 5 humedales del tipo II donde "no se ve RA peligros en una gran área" y 3 del tipo III humedal donde si "se ve una cantidad considerable de RA peligrosos". Finalmente, en el IEA se obtuvo 6 humedales en estado "regular", 2 en estado "insatisfactorio" y 1 en estado "malo".

Tabla 9. Índices de calidad ambiental por humedal, valor numérico y estado equivalente. Índice de Limpieza Costera (ILC), Índice de Articulos Peligrosos Tóxicos (IAP (T)), Índice de Artículos Peligrosos Afilados (IAP (A)), Índice de Artículos Peligrosos (IAP), Índice de Estado Ambiental (IEA).

Humedal	ICL		IAP (T)		IAP (A)		IAP		IEA	
Pichicuy	4,73	Limpio	0,26	II	0,2	II	0,45	II	2,0	Regular
Pullally	3,17	Limpio	0,42	II	0,08	I	0,5	II	2,2	Regular
Papudo	13,86	Sucio	2,06	III	0,33	II	2,39	III	2,8	Insatisfactorio
Mantagua	33,1	Extremadamente Sucio	0,17	II	0,1	II	0,27	II	2,1	Regular
Aconcagua	11,1	Sucio	1,05	II	0,24	II	1,29	III	3,2	Insatisfactorio
Marga Marga	22,69	Extremadamente Sucio	0,93	II	1,16	III	2,09	III	4,2	Malo
Tunquen	4,44	Limpio	0,05	I	0,04	I	0,09	I	1,6	Regular
Estero Córdova	4,3	Limpio	0,6	II	0,22	II	0,82	II	2,5	Regular
Cartagena	6,17	Moderado	0,65	II	0,21	II	0,87	II	2,4	Regular

El análisis de los humedales en la tabla dinámica (Tabla 6) comparando los resultados del ICL y el IAP, nos indica que 4 humedales requieren de actividades de restauración (Papudo, Mantagua, Aconcagua y Marga Marga), 4 humedales requieren actividades de limpieza (Pichicuy, Pullally, Córdova, Cartagena) y 1 humedal requiere actividades de protección (Tunquén).

Los resultados de la prueba KS (Tabla 9) mostraron diferencias significativas en las distribuciones de RA entre varios pares de humedales. En términos de densidad de residuos, los

valores p fueron inferiores a 0,05 en 26 comparaciones y en 10 comparaciones mostraron que no hay diferencias significativas donde se destaca Pichicuy/Pullally (D= 0,22), Aconcagua/Mantagua (D= 0,17), Estero de Corodova/Tunquén (D= 0,22), Cartagena/Pichicuy (D= 0,17), Cartagena/Aconcagua (D= 0,27), Cartagena/Estero de Córdova (D= 0,22), Papudo/Mantagua (D= 0,22), Papudo/Pichicuy (D= 0,27), Papudo/Aconcagua (D= 0,12) y Papudo/Cartagena (D= 0,24).

Tabla 10. Matriz de comparación de la densidad de la composición de los residuos antropogénicos recolectados entre humedales, en la parte superior se muestran los valores p y en la inferior los valores D. Los humedales se encuentran ordenados según su IEE.

	Pullally	Mantagua	Tunquén	Pichicuy	Aconcagua	Marga Marga	Estero de Córdova	Cartagena	Papudo
Pullally	1	0,001	0,024	0,243	0,006	<0,001	0,024	0,047	0,002
Mantagua	0,414	1	<0,001	0,025	0,5480	<0,001	0,001	0,047	0,243
Tunquèn	0,317	0,585	1	<0,001	<0,001	<0,001	0,243	<0,001	<0,001
Pichicuy	0,219	0,317	0,512	1	0,025	<0,001	0,047	0,548	0,086
Aconcagua	0,365	0,170	0,463	0,011	1	<0,001	0,025	0,086	0,901
Marga Marga	0,682	0,512	0,707	0,561	0,488	1	<0,001	<0,001	0,002
Estero de Córdova	0,317	0,414	0,219	0,293	0,317	0,5122	1	0,243	0,025
Cartagena	0,292	0,292	0,439	0,171	0,268	0,5854	0,2195	1	0,149
Papudo	0,390	0,219	0,487	0,268	0,122	0,3902	0,3171	0,244	1

Los resultados de la prueba KS (Tabla 10) mostraron diferencias significativas en las distribuciones de RA entre varios pares de humedales. En términos de biomasa de residuos, los valores p fueron inferiores a 0,05 en 12 comparaciones donde se destaca Tunquen, el cual tiene diferencias significativas con 6 humedales (Pullally (D=0,34), Mantagua (D=0,29), Aconcagua (D=0,41), Marga Marga (D=0,58), Cartagena (D=0,31) y Papudo (D=0,29)). Finalmente, Marga Marga presenta diferencias significativas con 7 humedales (Pullally (D=0,39), Mantagua (D=0,36), Tunquén (D=0,58), Pichicuy (D=0,41), Estero de Córdova (D=0,39), Cartagena (D=0,39) y Papudo (D=0,14)).

Tabla 11. Matriz de datos obtenidos de la prueba Kolmogorov-Smirnov (KS) en base a la biomasa de la composición de los residuos antropogénicos recolectados, en la parte superior se muestran los valores p y en la inferior los valores D. Los humedales se encuentran ordenados según su IEE.

	Pullally	Mantagua	Tunquen	Pichicuy	Aconcagua	Marga Marga	Estero de Cordova	Cartagena	Papudo
Pullally	1	0,901	0,012	0,90	0,243	0,002	0,738	0,985	0,901
Mantagua	0,122	1	0,047	0,985	0,376	0,006	0,548	0,738	0,985
Tunquen	0,341	0,293	1	0,148	0,001	<0,001	0,086	0,024	0,047
Pichicuy	0,122	0,097	0,243	1	0,149	0,001	0,985	0,985	0,985
Aconcagua	0,219	0,195	0,414	0,243	1	0,149	0,548	0,377	0,377
Marga Marga	0,390	0,366	0,585	0,414	0,243	1	0,003	0,003	0,005
Estero de Cordova	0,146	0,171	0,268	0,097	0,170	0,390	1	0,985	0,738
Cartagena	0,097	0,146	0,317	0,097	0,195	0,390	0,097	1	0,985
Papudo	0,122	0,098	0,292	0,097	0,195	0,366	0,146	0,097	1

El ACP generó dos componentes principales que explican el 99,4609% de la variabilidad total de los datos. El Componente 1 explica el 96,577% de la variabilidad. Este componente está relacionado principalmente con RA plásticos (P), que presentó una alta carga positiva de 0,999, por otro lado, las colillas de cigarros (PC5) presentó una carga negativa de -0,022.
La variabilidad en el Componente 2 (2,8839%) está explicada por las colillas de cigarros, papel-cartón y metales (cargas de 0,94, 0,21 y 0,19, respectivamente).

Dentro de los datos obtenidos en el ACP (Fig. 4a), podemos distinguir algunos grupos, un primer grupo ubicado en el extremo más alejado del resto, positivo del CP 1, Mantagua y Marga Marga, los cuales tiene una mayor predominancia de RA del tipo plástico, en el extremo negativo, encontramos el humedal de Papudo y Aconcagua, los cuales se ven más ligados a las colillas de cigarros y el papel cartón. De igual forma en el extremo negativo del CP1 y CP2 tenemos a los humedales de Pullally, Pichicuy, Tunquén, Cartagena y Estero de Córdova, los cuales se encuentran relacionados con el ítem plástico con un promedio de 0,11 unidades/m² (±DS 0,06).

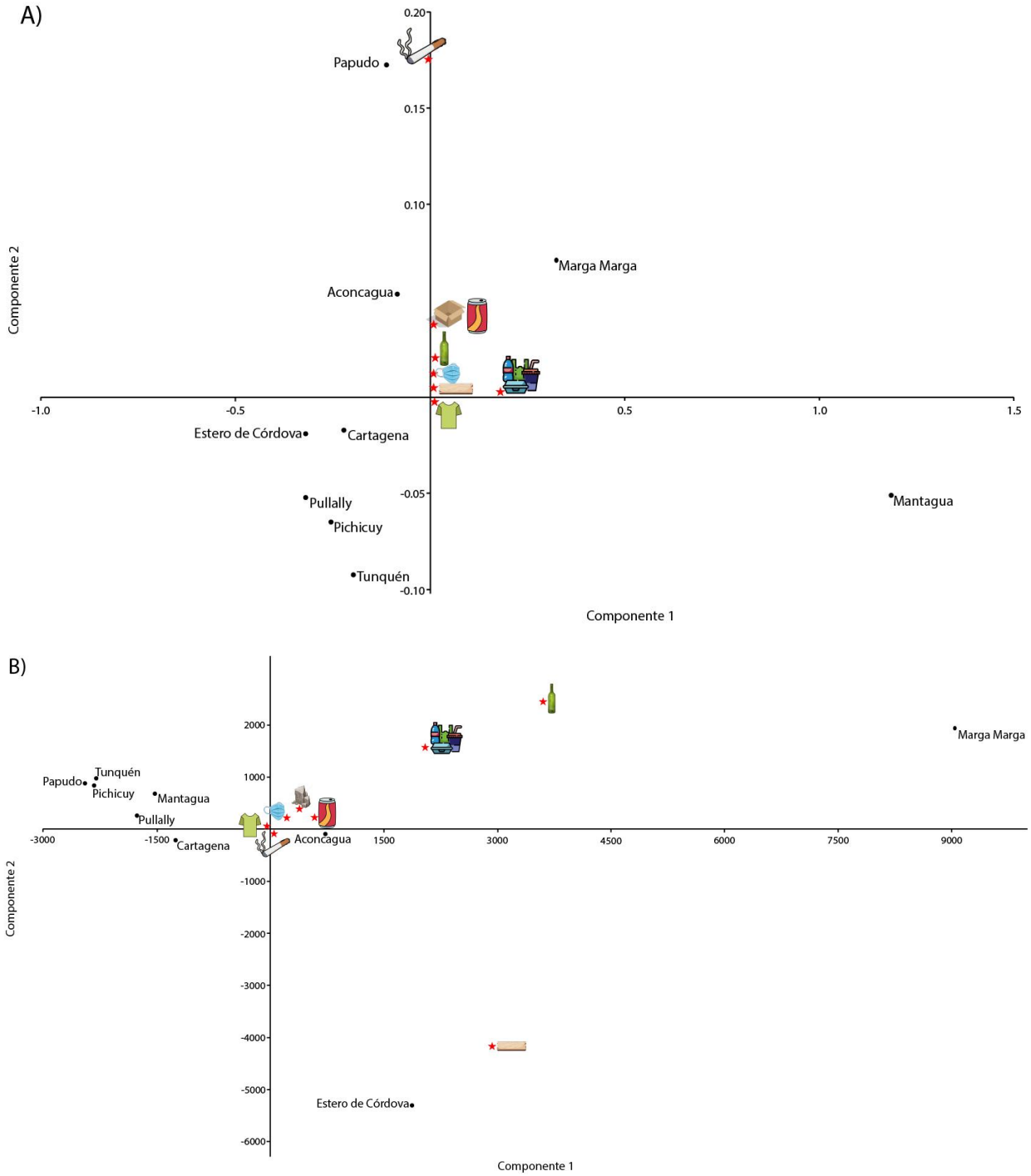


Figura 4. ACP de los RA en base a su densidad (A) y biomasa (B) para los humedales estudiados. Iconografía: Envases plásticos (plásticos), Caja de cartón (Papel-cartón), Cigarro (Colillas de Cigarros), Bebida en lata (Metales), Botella de vidrio (Vidrios), Tabla (Madera procesada), Mascarilla (Residuos Sanitarios), Rocas (Escombros), Polera (Telas).

El ACP en base a la biomasa generó dos componentes principales que explican el 99,08% de la variabilidad total en los datos:

- CP1 (75,2%): Este componente está relacionado principalmente con RA de Vidrios, que presento una alta carga positiva de 0,704, en segundo lugar, también está la categoría Madera procesada que presento una carga positiva de 0,572, luego plásticos con una carga de 0,402 y finalmente metales con carga de 0,106.
- CP2 (23,89%): Este componente está explicado por el Vidrio, con una carga positiva de 0,48 y el Plástico con una carga de 0,30, finalmente la Madera procesada con una carga negativa de -0,81.

Dentro de los datos obtenidos en el ACP (Fig.4b), podemos distinguir algunos grupos, tenemos un primer grupo, Marga Marga y Estero de Córdova, los cuales se encuentran más apartados del resto de los humedales, en el caso de Marga Marga, este destaca por una gran cantidad de vidrios, madera procesada y plásticos, Estero de Córdova destaca casi en su totalidad por el ítem madera procesada. Luego en un segundo grupo podemos identificar a Aconcagua, el cual se encuentra más cerca del centro, pero en el área positiva del CP1 y negativa de CP2, esto debido a que su composición de Madera procesada, Vidrio y Plásticos componen la mayor parte de su biomasa, pero en menor proporción al comparar la con Marga Marga. Finalmente, en el último grupo donde tenemos a Pullally, Mantagua, Pichicuy, Papudo y Tunquén, estos se encuentran agrupados en el sector positivo de CP2 y negativo de CP1, lo que sugiere que hay similitudes en las categorías de biomasa de RA, en el caso de Cartagena, este se encuentra en el área negativa de CP2 y CP1, debido a que su biomasa se compone principalmente de madera procesada. El mismo caso se repite en Pullally, donde la madera procesada es el principal componente, pero con una en la cantidad mayor de plásticos y telas. En el caso de Mantagua, vemos la predominancia de plástico, seguido de madera procesada y vidrio. Por último, en el caso de los humedales de Pichicuy, Papudo y Tunquén en el primero vemos un aumento de biomasa en el ítem plástico y escombros, para el caso de Papudo vemos una dominancia del plástico y finalmente Tunquén destaca principalmente el plástico.

En base al dendrograma de densidad obtenido (Fig. 5a) se establece un umbral de corte en una distancia aproximada de 0,20 unidades, obteniendo 4 clúster:

- Clúster 1: Marga Marga

  Este grupo resultó ser el segundo con menor similitud entre los humedales, con un nivel de distancia <0,60 unidades, aislándose del resto de los grupos. Esto sugiere que estos sitios poseen características específicas que los diferencian con el resto de los humedales, principalmente en la alta densidad de plásticos, 0,736 (unidades/m²). Este humedal también destaca por tener la mayor densidad de vidrio (0,036 unidades/m²), madera procesada (0,118 unidades/m²) y residuos sanitarios (0,053 unidades/m²).

- Clúster 2: Tunquén, Cartagena, Pichicuy, Pullally y Estero de Córdova

  Los humedales de este clúster presentaron similitudes importantes entre sí, con una distancia ~0–0,15. En este grupo destacan Tunquén, Cartagena y Pichicuy por tener la mayor densidad de plásticos, 0,165 (unidades/m²), 0,155 (unidades/m²) y 0,135 (unidades/m²) respectivamente. Por otra parte, los humedales de Pullally y Estero de Córdova, presentaron una densidad de 0,045 (unidades/m².) lo cual los deja en una posición bastante cercana.

- Clúster 3: Papudo y Aconcagua

  Este grupo mostró similitud de ~0 –0,15 unidades, siendo cercano al grupo del clúster 2, estos humedales destacan por su similitud en su densidad de ítem, plásticos (0,361 unidades/m² Papudo y 0,227 unidades/m² Aconcagua) y colillas de cigarros (0,322 unidades/m² Papudo y 0,103 unidades/m² Aconcagua) ambos ítems representan los dos con mayor densidad en cada humedal.

- Clúster 4: Mantagua

  Este grupo presenta una distancia más marcada con respecto a los otros clústeres, este caso se presenta como un punto aislado en el dendógramas debido a su alta distancia euclidiana Cercana a 1,35 unidades. Esto indica que Mantagua posee una composición de residuos significativamente distinta del resto, destacando su alta densidad de plásticos, 2,24 unidades/m² y este sería el humedal con mayor cantidad de plásticos en relación con su área estudiada.

El dendrograma obtenido en base a la biomasa (Fig.5b), se establece un umbral de corte en una distancia aproximada de 3.000 unidades, obteniendo 4 clúster:

- Clúster 1: Estero de Córdova

  Este grupo mostro diferencias marcadas con respecto a los otros clústeres, destacando su composición significativamente distinta, la cual se centra en Madera procesada con 7.565 g. convirtiéndolo en el humedal con mayor biomasa de madera procesada.

- Clúster 2: Cartagena, Papudo, Tunquén, Pichicuy, Pullally y Mantagua

  Los humedales de este clúster presentaron similitudes importantes entre sí, con un nivel de distancia inferior a 1.500. Esto sugiere que estos sitios comparten patrones similares de residuos, principalmente en Los humedales de este grupo se caracterizan por una cantidad moderada de plásticos promedio de 537,4 g (± 96,88 ds), excepto el humedal de Mantagua donde este presenta 1.421g, siendo este humedal el que tiene mayor cantidad de biomasa de plástico del grupo, el resto de los ítems de RA en todos los humedales, se mantienen relativamente bajos.

- Clúster 3: Aconcagua

  Este grupo mostró diferencias con el clúster 2, Aconcagua lo encontramos a una distancia cercana a 3.000, esto debido a un aumento en la biomasa de Vidrios, Madera procesada y Plásticos, 2.003 g, 2.640 g y 1.190 g respectivamente.

- Clúster 4: Marga Marga

  En el caso de Marga Marga, este se encuentra aislado a un extremo del dendógrama a una distancia superior a los 10.500 del resto de los cluster, esto debido a su gran aumento de biomasa en los ítems Plásticos, Madera procesada, Metal y Vidrio (5.532g, 5.751g, 1.314g y 8.595g respectivamente), convirtiéndose en el humedal con mayor cantidad de biomasa.

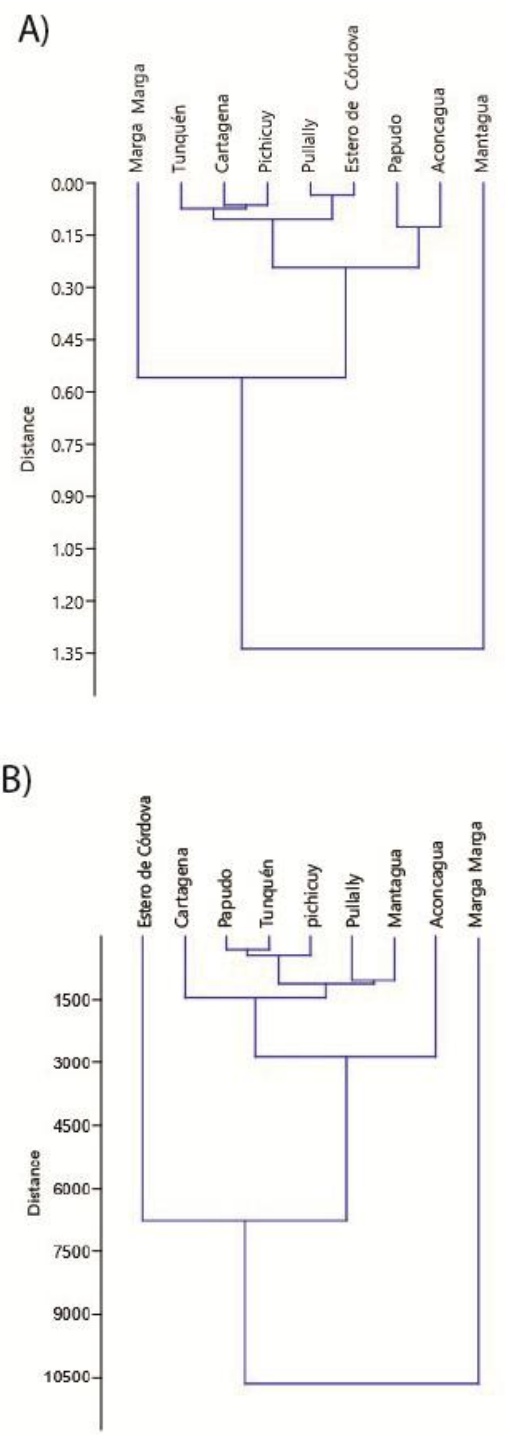


Figura 5. Dendrograma generado mediante análisis de clúster (índice de similitud euclidiano, algoritmo UPGMA) de los residuos antropogénicos recolectados en nueve humedales costeros de la región de Valparaíso. A) Densidad y B) Biomasa

3.4. Desarrollo de protocolo para el monitoreo, de los residuos sólidos en humedales costeros y validar en un caso de estudio

Protocolo limpieza de orillas de playas

Descripción

Las limpiezas de orillas de playas son actividades de convocatoria voluntaria que se llevan a cabo a lo largo de todo el mundo. En ellas se recolectan residuos de origen antropogénico (RA) y se dispone de ellos para su posterior tratamiento con las entidades responsable de estos. En muchos casos, estos residuos son clasificados en distintos ítems, para ser analizados y/o para ser reciclados.

Objetivos

Primero, llevar a cabo una mantención de la cantidad de RA encontrados en orillas de playas.
Segundo, construir una base de datos sobre los RA presentes en el área estudiada, para respaldar la toma de decisiones sobre la gestión de estos espacios naturales, buscando generar un cambio sobre algunas conductas dañinas con el medioambiente mediante la creación de conciencia medioambiental en la comunidad que visita estos ecosistemas.

Materiales y recursos necesarios

- ½ litro de agua y/o jugos por participante;
- Bloqueador solar;
- Alcohol gel;
- Planilla de voluntarios (incluye nombre, edad, ocupación, correo);
- Planilla clasificación de basura;
- Banderines para marcar sectores
- Lápices;
- 1 Toldo;
- 1 Mesa;
- 1 Mantel;
- 1 Pendón de la Organización;

- 1 par de guantes limpios por participante;
- 1 bolsa y/o saco y 1 botella plástica por cada 2 participantes;
- 1 bascula de pesaje;

Procedimiento

- Fase de coordinación

Escoger la fecha, hora y lugar de la limpieza con al menos dos semanas de anticipación durante una reunión presencial o teleconferencia. En esta, se determinará el encargado de la coordinación de la actividad. Tener en consideración la condición ambiental pronosticada para el día y el horario de mareas.

- Fase de preparación

1. El encargado a cargo de la actividad, con dos semanas de anticipación, deberá solicitar a la Capitanía de Puerto correspondiente los permisos necesarios para la realización de la actividad, con el municipio correspondiente, se solicita el apoyo para el retiro de los residuos y coordinar la autorización con el concesionario del terreno a limpiar, en caso de que sea necesario.
2. Realizar la invitación de voluntarios que quieran participar de la actividad, junto a la posterior separación de residuos.
3. Verificar que los guantes y sacos estén limpios, comprobar que haya los suficientes materiales para los asistentes a la actividad, que haya bloqueador y alcohol gel disponibles.

- Ejecución

1. Los encargados deben llegar al menos 30 min antes para montar mesa, mantel y toldo con todos los materiales necesarios, junto con las planillas impresas. Al momento de realizar la actividad la playa será marcada en cuadrantes de 100 metros de longitud y un ancho variable desde el inicio de la playa hasta la zona húmeda con los banderines de color que pueda destacar a la distancia. Es de suma importancia tratar de referenciar los límites del cuadrante con alguna referencia fija que se pueda distinguir en un mapa satelital o georreferenciar los

vértices, para que una vez terminada la actividad se pueda calcular el área de terreno limpiada.

2. Disponer de planilla (Fig. 6) y lápices para que a medida que lleguen voluntarios, el encargado de la actividad pueda inscribirlos y entregar los materiales necesarios.
3. Esperar a que llegue la cantidad mínima de voluntarios establecida, pedirles que se apliquen bloqueador y explicarles que se trabajará por zonas y en equipos (según la cantidad de voluntarios) donde recogerán todo tipo de RA, para depositarlos en los sacos, recordar que se excluyen ramas, plumas, algas, conchas o cualquier otro material que no sea de origen antropogénico, también se debe mencionar el cuidado que se debe tener al momento de manipular residuos que resulten un peligro biológico como residuos sanitarios o peligro cortopunzante, como metales. Para la recolección de colillas de cigarro se les entregar una botella platica, donde se depositarán las colillas para su posterior conteo.
4. El encargado deberá indicarles a los voluntarios el espacio delimitado de recolección de RA.
5. A medida que los voluntarios terminen, se recolectaran los sacos de RA a un área asignada hasta que termine la actividad.
6. Una vez cumplida la duración de la actividad, los voluntarios vuelven al punto de encuentro. Luego se procederá a separar los RA en las diferentes categorías (se recomienda que cada voluntario realiza la calificación de su propia bolsa). Se utilizará la PLANILLA para poder clasificar los RA.
7. Guardar las colillas de cigarro hasta que puedan ser entregadas a quien las recicle (Biosfera mía, Imeko, etc.)

- Precauciones

1. El personal a cargo de la actividad se quedará siempre en el stand y ofrecerá a los voluntarios cuidar sus pertenencias.
2. Una vez que la actividad comience, cada voluntario nuevo que llegue se derivará a un equipo o se conformará uno nuevo.

Evaluación

El organizador debe transferir los datos de la planilla a una versión digital y subir el respaldo al drive, para así ir generando una base de datos.

"Levantamiento de Información Limpieza de Playa"

Encargado/os:	Lugar de Limpieza:	
Fecha:	Hora de Inicio:	Hora de Termino:
Esfuerzo de Muestreo (Duración) :	N° de Participantes Total: _____ Cantidad por sector:	Otros:

Resumen de Limpieza

	Ítems (Peso en kl y Cantidad en u. Se recomienda trazar línea o dejar espacio para separar sectores)																	
	Plásticos		**Tela**		**Papel y Cartón**		**Madera Procesada**		**Vidrio**		**Metal**		**Residuos Sanitarios**		**Excremento**		**Colillas de Cigarros**	
Sector	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
	Elementos Orgánicos		**Escombro**															
Sector	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		

Figura 6. Planilla de recolección de RA utilizada para el levantamiento de información en playas de humedales.

PASOS PARA CLASIFICAR LOS RESIDUOS ANTROPOGENICOS

1. Separar las bolsas de basura por sector.
2. Se procede a separar los ítems recolectados por categoría. Las categorías se encuentran detalladas en la planilla.
3. Contar las unidades de los ítems, luego pesar el total de lo recolectado y anotar en la planilla

PRECAUCIONES AL CLASIFICAR

1. Debe ser en un lugar protegido del viento (muchos objetos recogidos pueden volarse y terminar en la playa nuevamente).
2. Procurar que se cuantifique la mayor cantidad de los RA recolectados, una vez que estos sean muy pequeños para contarlos por unidad, se desecha el resto.

TRASPASO DE DATOS A PLANILLA EXCEL

1. Rellenar los datos de la limpieza, nombre del humedal, fecha de actividad y área del sector estudiado.
2. Rellenar las columnas de unidades y gramos de RA para cada ítem clasificado.
3. Automáticamente se calculará el porcentaje que representa cada ítem del total recolectado y su densidad.
4. Para obtener el resultado del Índice de Limpieza Costera (ILC), solo se utiliza el valor del cuadrante N2, el que corresponde al valor numérico del ILC. Con este valor, se compara en la tabla adjunta y se puede obtener la calidad y descripción del ILC.
5. Para obtener el resultado del Índice de Artículos Peligrosos (IAP), nos fijamos en los resultados de los artículos peligroso-tóxicos, cortopunzantes y el IAP total (R2, V2 y Z2 respectivamente), luego el valor numérico es comparado en la tabla de valores y se obtiene el tipo y descripción del IAP.
6. Para obtener el Índice de Estado Ambiental (IEA), debemos comparar los datos obtenidos de las unidades de los ítems con la tabla de rangos, la cual clasifica del 1 al 4, en base a la cantidad de unidades por ítem. Para cada ítem se debe clasificar según su abundancia en 4

categorías, bueno (1), regular (2), insatisfactorio (3) y malo (4). Finalmente, en la casilla Z18, nos da el valor numérico del IEA total, el cual también se clasifica del 1 al 4.

7. En el análisis por sector, se realiza comparando los resultados de los índices (ILC x IAP) (ILC x IEA), según los resultados, el valor se ubicará en 3 zonas distintas de la tabla, la cual nos indicara las acciones a tomar en el sector estudiado, estas son Protección, Limpieza y Restauración.

VALIDACIÓN

Durante febrero de 2024, la investigación de tesis fue presentada ante el Comité Técnico de Humedales de Concón. En esta instancia, se propuso iniciar un levantamiento de información para la implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo de residuos antropogénicos (RA) en la ribera del humedal. Para ello, se estableció un trabajo colaborativo con Marcela Román, encargada del Parque Ecológico La Isla de Concón, y Belén Ponce, directora subrogante de la DIMAO de Concón. Junto a ellas, se definió un área fija en la desembocadura del humedal para realizar un monitoreo mensual. Además, se diseñó un método simplificado que garantizara su replicabilidad en el tiempo. La propuesta fue presentada al comité y aprobada por unanimidad.

Como siguiente paso, se acordó realizar una limpieza piloto con el propósito de elaborar un protocolo ajustado a las condiciones de trabajo establecidas por el municipio. Este protocolo consideró variables como cantidad de personal, tiempo disponible y complejidad del método. La actividad se llevó a cabo siguiendo la metodología utilizada en otros monitoreos de la tesis. En el área definida, se estableció un tiempo de muestreo de 45 minutos, recolectando residuos exclusivamente dentro del sector acordado. Posteriormente, los residuos fueron clasificados y cuantificados; aquellos en condiciones adecuadas fueron reciclados, mientras que el resto fue gestionado por la municipalidad. Con los datos obtenidos, se elaboró un documento en Excel que incluyó las fórmulas correspondientes a los indicadores ambientales de interés.

Tras tres muestreos de evaluación, se decidió delimitar un área más acotada para el monitoreo, asegurando su ejecución en paralelo con la limpieza general de la playa, pero sin mezclar los resultados finales. Con la metodología ya definida, se realizaron los dos últimos muestreos colaborativos el 18 de junio y el 29 de julio de 2024. Posteriormente, el municipio se

comprometió a continuar con las limpiezas de manera mensual y a levantar información sistemática para la gestión ambiental de la playa.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis planteada, ya que se observó una relación entre el grado de intervención antrópica y la contaminación por RA, se observa una tendencia de que los humedales que presentan un IEE alto o extremadamente alto, presentan una alta densidad de RA y sus indicen indican un deteriorado estado ambiental.

4. DISCUSION

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental y el grado de intervención antrópica en humedales costeros de la Región de Valparaíso, además de desarrollar una propuesta de protocolo para su monitoreo. Los resultados obtenidos confirman que la intervención antrópica es un factor determinante en la contaminación por residuos antropogénicos (RA), pero también destacan la influencia de otros factores como la dinámica hidrológica y la gestión local de residuos.

4.1. Clasificación de los humedales costeros según el grado de intervención antrópica

Quince de los 20 humedales fueron clasificados como “extremadamente alto”, lo que concuerda con lo dicho por Contreras-López *et al*. (2017) que menciona que el litoral de Chile central es una de las zonas costeras más intervenidas del país. Se encontró una relación entre un mayor IEE y una mayor densidad de RA, esto puede ser consecuencia de que las áreas de humedales son objeto frecuente de asentamientos informales (Clichevsky, 2006), como lo es el caso del humedal del Aconcagua, del humedal de Cartagena, humedal de Pichicuy y Estero de Córdova, los cuales resultan tener un IEE alto o extremadamente alto. Otro caso es en Rio Grande, ciudad costera de Tierra del Fuego, Argentina donde un tercio de la expansión urbana fue a expensas de la desaparición de humedales (Iturraspe *et al.,* 2021). En un estudio en humedales costeros de Perú se observó que el crecimiento demográfico y la urbanización están relacionados con la introducción de especies exóticas y acumulación de escombros o basura (Vilca *et al.,* 2023).

El humedal de Marga Marga, ubicado en un entorno altamente urbanizado como lo es el centro de la ciudad de Viña del Mar, presentó uno de los valores más altos del IEE y exhibió las mayores concentraciones de residuos, clasificándose como "extremadamente sucio" en el Índice de Limpieza Costera (ILC). Esto sugiere que la urbanización intensa y la cercanía a centros poblados contribuyen significativamente a la acumulación de residuos en estos ecosistemas, siendo las posibles fuentes de los RA los visitantes que llegan a la playa que se forma en la desembocadura y los ciudadanos que desechan su basura en distintas partes del rio. Este humedal destaca por encontrarse en una comuna con una población de 334.248 (Censo de Población y Vivienda, 2017), dicha población se encuentra ubicada en su totalidad en área urbana

transformándolo como uno de los humedales con mayor población circundante. Según datos del Servicio Nacional de Turismo (2023) la región de Valparaíso es el destino de preferencia para los turistas durante las festividades, proyectando 476 028 llegadas, y destacando la comuna de Viña del Mar como la más visitada.

Si bien el año 2020 se aprobó un proyecto de ley para proteger los humedales urbanos en Chile la Ley N° 21.202 del Ministerio de Medio Ambiente, la falta de tales medidas en el pasado permitió una reducción significativa de la superficie de humedales, principalmente debido al crecimiento urbano y especialmente en la zona central del país (33–37,5◦ S), donde se concentra el 73% de la población nacional (Rojas et al., 2018).

Por otra parte, el humedal de Pullally, localizado en un área protegida como santuario de la naturaleza y con menor influencia de asentamientos urbanos, obtuvo el IEE más bajo y mostró la menor acumulación de RA, lo que puede ser un factor que ayuda a la efectividad de la conservación y la menor exposición a fuentes de contaminación.

También se observó que algunos humedales con menor intervención antrópica, como el humedal urbano de Mantagua, presentaban una acumulación considerable de residuos, lo que sugiere la existencia de otros factores que influyen en la contaminación, entre estos factores se incluyen la influencia de las corrientes de agua, la deposición eólica y la falta de estrategias adecuadas de gestión de residuos en áreas circundantes. Este hallazgo resalta la necesidad de considerar múltiples variables al evaluar el impacto humano en los humedales y diseñar estrategias de manejo específicas para cada sitio.

4.2. Cuantificación de los residuos sólidos domiciliarios en nueve humedales costeros

El análisis de residuos mostró que los humedales con mayor intervención antrópica, como Marga Marga y Aconcagua, presentaron los niveles más altos de contaminación, clasificados como "extremadamente sucios" y “sucio” respectivamente en el Índice de Limpieza Costera (ILC), en un estudio anterior de Rangel-Buitrago *et al*. (2020b) vemos que el playa la Boca, que es la playa donde desemboca el Humedal del Aconcagua, esta presentó un ILC “moderado” por lo que se

puede inferir que desde el 2020 la cantidad de RA en el sector ha ido en aumento. En contraste, humedales menos intervenidos, como Pullally y Tunquén, registraron menores concentraciones de residuos y mejores condiciones ambientales.

El plástico fue el tipo de residuo con mayor densidad en todos los humedales estudiados, representando el 70% del total de RA recolectados, esta predominancia de los plásticos en la composición de la basura se ha reportado con anterioridad en otros estudios (Honorato-Zimmer et al., 2021; Kiessling et al., 2019; Rech et al., 2014). Dentro de esta categoría, se destacó la presencia de "piezas de plástico y poliestireno de 0 a 2,5 cm." en humedales como Mantagua, lo que indica un avanzado proceso de fragmentación de estos materiales, debido a la erosión por transporte o por exposición a radiación UV. Esto es consistente con estudios previos que han demostrado que los plásticos, al degradarse, generan microplásticos que persisten en el medioambiente y pueden ser transportados a largas distancias (Rech *et al.,* 2014; Ergas & Thiel, 2022).

A nivel mundial, según los datos de Ocean Conservancy (2023) el ítem más abundante es el plástico representando un 45.5% del total recolectado, de esto las piezas de plástico y poliestireno de 0 a 2,5 cm. representan un 12,7% del total de la muestra, siendo el subitem mas abundante dentro del ítem plástico, en segundo lugar, se encuentran las colillas de cigarros representando un 11,9% del total de la muestra. Estas proporciones se asemejan a la composición de los humedales de la región de Valparaíso, con la diferencia que el ítem plástico, representa una mayor parte del total de la muestra. A nivel nacional según Ocean Conservancy (2023), el ítem mas abundante fueron las colillas de cigarros, representando el 21,9% del total, en segundo lugar, está el plástico con 20,6% del total, cambiando el orden y tomando mas protagonismo las colillas de cigarros. Esto a pesar de que en enero de 2022 se votó el proyecto de modificación de ley 21.413—Chao Colillas, que prohíbe fumar y dejar colillas a 80 m de cualquier playa o ribera del territorio nacional (Chile, 2022), lo cual demuestra las fallas en esta iniciativa, reflejado en que los datos relacionados a la presencia de las colillas de cigarros no han disminuido en el tiempo.

Según un estudio de Ergas & Thiel (2022) sobre RA a nivel nacional en ríos, se indica que presenta un promedio de 1,61 unidades/m^2, generando una gran diferencia con los datos obtenidos de los humedales costeros de la región de Valparaíso, donde la densidad promedio fue de 0,58 unidades/m^2, esto se puede deber al esfuerzo de muestreo y las diferencias metodológicas para la recolección de muestras. Las Cantidades y densidades de RA encontradas fueron mayores que los valores encontrados por Krelling *et al*. (2017) en el Complejo Estuarino Paranaguá, estado de Paraná, Brasil (0,20 ítems/m^2), Martin *et al.* (2019) en la costa del Mar Rojo de Arabia Saudita (0,23 ítems/m^2), Nachite *et al.* (2019) en playas marroquíes (0,203 ítems/m^2), Andriolo *et al*. (2020) en Praia da Leirosa, Portugal (0,25 ítems/m^2) y Kaviarasana *et al*. (2020) en las Islas Lakshadweep, India (0,3 ítems/m^2).

Según un estudio de Horstmann (2007), donde se presenta un caso de estudio al sur de Chile, en el área marina y costera del Golfo de Corcovado, Chiloé, resulto que el 87% de la basura recogida en las playas son materiales plásticos, y al menos 65% pueden ser asociados a actividades económicas en la costa, tales como la pesca artesanal y la acuicultura industrial. Esto se diferencia a la región de Valparaíso, donde en los humedales estudiados, la gran parte de los residuos provienen del sector turístico y domiciliario.

Analizando los resultados en base a la biomasa, podemos ver que la composición cambia en comparación con los datos de densidad. El ítem de mayor biomasa es la madera procesada, representando un 40% del total de la biomasa. El vidrio, que toma el segundo lugar representando con un 24% del total de la muestra, este ítem destaca por su baja densidad, pero gran biomasa, en consecuencia, se puede inferir que estas botellas provienen de fuentes locales o cercanas al humedal, ya que gracias a su poca flotabilidad es extraño que este ítem sea transportado por el rio en grandes distancias. Esta observación se contrasta con estudios previos que indican que los residuos plásticos pueden ser transportados largas distancias antes de depositarse en ecosistemas costeros debido a su alta flotabilidad (Rech et al., 2014; Ergas & Thiel, 2022).

Luego en tercer lugar el plástico, toma relevancia con un 23% del total de la muestra, pero el subitem que mas destaca son las “Piezas de plástico / poliestireno 2,5 cm> <50 cm” el cual

representa un 9,08% del total de la muestra, esto se debe a que piezas plásticas de gran tamaño logran acumular mas biomasa a pesar de su poca densidad. Esta diferencia de composición entre biomasa y densidad de ítems hace importante que ambos parámetros sean considerados al momento de la toma de datos, ya que con estos se puede tener una imagen mas completa de como se compone los RA de los humedales estudiados.

4.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros

La función de los humedales se está viendo alterada por la intervención antropogénica global. Las principales amenazas para los humedales están relacionadas con la construcción de infraestructura, la extracción de agua, la eutrofización y la contaminación (Clunes et al., 2022). Gracias a estos índices podemos ver el impacto de los RA desde distintos puntos de vista, el ILC clasifica el lugar en base a la cantidad de RA que se encuentra en el área estudiada, el IAP los clasifica en base a RA peligrosos, peligrosos corto punzantes y peligrosos tóxicos, y categoriza el área estudiada en base a la cantidad del tipo de RA peligroso presente en este. Finalmente, el IEA permite clasificar los ítems de RA según si su impacto es directo o indirecto con los organismos que puedan encontrarse en el área.

Los humedales con mayores niveles de contaminación, como Marga Marga y Aconcagua, no solo presentaron altos valores en el Índice de Limpieza Costera (ILC), sino que también mostraron una alta presencia de artículos peligrosos según el Índice de Artículos Peligrosos (IAP). También en el IEA vemos que el humedal de Marga Marga presenta un estado ambiental “malo”, esto se puede relacionar con su alta densidad de ítems peligrosos y una alta densidad de RA en general. Esto puede ser comparado con estudios previos realizados durante el 2019 en Rangel-Buitrago *et al*. (2020b), donde se estudia las playas aledañas a la desembocadura de ambos humedales, en el caso de playa la Boca obtuvo un ILC “moderado”, IAP “tipo III” y IEA “malo” comparado con el Humedal del Aconcagua que presento un ILC “sucio”, IAP “tipo III” y IEA “regular”, en el paso del tiempo los índices ILC y IAP empeoraron, no así el IEA. En el caso de la playa Acapulco podemos distinguir que un ILC “moderado”, IAP “tipo II” y IEA “malo” comparado con el Humedal Marga Marga que presento un ILC “extremadamente sucio”, IAP “tipo III” y IEA “malo”, vemos que el ILC empeoró en el tiempo. Esto indica un mayor riesgo

para la fauna local y potenciales afectaciones a la salud humana en caso de contacto con estos residuos.

En contraste, humedales como Pullally y Tunquén, clasificados con menor intervención antrópica, obtuvieron valores bajos en los ILC, IAP y IEA, lo que sugiere que los ecosistemas con menor urbanización circundante presentan mejores condiciones ambientales, similar a resultados obtenidos en playas de ríos de la Amazonia peruana de Pinchi Villanueva (2022), el cual tuvo un ILC "muy limpio". No obstante, la presencia de residuos en todos los humedales evaluados, independientemente de su grado de intervención, evidencia la necesidad de implementar estrategias de mitigación, como la limpieza y restauración en estos ecosistemas.

Un estudio de Coneo & Causil (2020) donde se evalúa el ILC durante un periodo de baja carga turística y otra en un periodo con aumento de la carga turística, resulto que se califica la playa en "moderada" y "sucia" respectivamente, lo cual respalda la primicia de que un aumento de la presión urbana puede verse reflejado en el estado ambiental de la playa con relación a los RA.

El humedal de Pullally y Mantagua, tienen un IEE extremadamente bajo y bajo respectivamente, en el caso de Pullally vemos que el análisis sectorial indica que requiere de actividades de limpieza y posee la densidad de RA mas baja. Por el contrario, Mantagua resulto ser el humedal con mayor densidad de RA y requiere actividades de restauración.

El humedal de Tunquén y Pichicuy, en el primer caso, Tunquén presentó un IEE medio, pero el resto de los índices, resultaron bajos, por lo que este humedal requiere de acciones de protección. Para el humedal de Pichicuy presentó un IEE alto, pero al analizar el conjunto de índices, estos indicaron que este humedal requiera actividades de limpieza para mejorar su estado ambiental.

En general se puede destacar que los únicos humedales que presentaron un IEA insatisfactorio y malo, son los que tienen un IEE alto y extremadamente alto. En consecuencia, se puede destacar que hay una tendencia de que los humedales que presentan un IEE alto o extremadamente alto, presentan una alta densidad de RA y sus indicen indican estado ambiental muy deteriorado.

Además, los resultados obtenidos a partir de los índices utilizados proporcionan una base metodológica sólida para futuros estudios de monitoreo ambiental en humedales costeros. La combinación de estos indicadores permite establecer umbrales de referencia para evaluar el impacto de las actividades humanas y diseñar estrategias de gestión ambiental adaptadas a cada contexto específico, ya que cada humedal se encuentra con su contexto propio.

4.4. Desarrollo y validación de un protocolo de monitoreo de residuos sólidos

Existe una gran diversidad de metodologías para la recolección de RA en terrenos de playas, como la medición por transectos horizontales al agua en distintas alturas de la playa (Coneo & Causil, 2020), transectos transversales a la línea de costa con estaciones circulares de un diámetro estipulado a distintas alturas de la playa (Ergas & Thiel, 2022), censo completo de los RA en un área con longitud de 100 m o 1000 m y un ancho que varía en base a la distancia entre el inicio de la playa y la línea de más alta marea (OSPAR, 2010), y sobrevuelo con dron para el monitoreo de macrobasuras en las costas (Garcia-Garin et al., 2020), entre otros.

El protocolo propuesto para el monitoreo de residuos en humedales costeros se basó en metodologías internacionales (OSPAR, 2010) y fue validado en un caso de estudio. Su aplicación demostró ser efectiva para identificar tendencias en la contaminación por RA y su relación con la intervención antrópica.

El caso de estudio se llevó a cabo en el humedal del Aconcagua, debido a que es uno de los pocos humedales que se encuentra bajo una administración municipal, recientemente reconocido como humedal urbano por el Ministerio de Medio Ambiente. Esto entregaba distintas instancias para participar en la creación de herramientas para la gestión ambiental, como el Plan de Gestión Ambiental, la Ordenanza de Humedales, el Consejo Comunal Ambiental y el Comité Comunal de Humedales. A través de estas instancias se propuso un método simplificado para llevar a cabo un monitoreo y seguimiento de los RA en el humedal. Se realizó una campaña inicial para establecer los parámetros a replicar y posteriormente se llevaron a cabo tres campañas.

Dentro de estas campañas se presentaron diversas dificultades. Uno de los principales desafíos fue la convocatoria de la comunidad para participar en las jornadas de monitoreo, lo que generó variabilidad en el esfuerzo de muestreo entre campañas. Otro problema identificado fue la clasificación de los RA, ya que se limitó a los ítems principales, debido a que incluir subítems aumentaba significativamente el tiempo necesario para la clasificación. Este proceso debía realizarse de forma inmediata después de la recolección de RA, ya que posteriormente los residuos eran retirados por los encargados de aseo y ornato municipal. Finalmente, la problemática más relevante fue la falta de recursos, ya que no se contaba con un equipo permanente para dar continuidad al monitoreo, lo que llevó a la pérdida de la periodicidad y la temporalidad del estudio.

Por otro lado, la implementación del protocolo en colaboración con administradores locales permitió fortalecer la gobernanza ambiental, siendo integrado en los borradores del Plan de Gestión Ambiental del Humedal del Aconcagua. Para lograr una gestión efectiva, es clave promover la participación de la comunidad en el monitoreo de humedales, ya que esto genera un sentido de pertenencia hacia el ecosistema, incentivando su cuidado y reduciendo la generación de nuevos RA. La integración de este protocolo en estrategias de conservación a largo plazo facilitaría la toma de decisiones informadas y la asignación de recursos para la restauración de estos ecosistemas.

Los resultados obtenidos respaldan la aplicabilidad del protocolo para la evaluación sistemática de residuos en humedales costeros y destacan su potencial para ser replicado en otras regiones del país. Se recomienda la continuidad de su implementación en conjunto con políticas ambientales locales para asegurar la conservación efectiva de estos ecosistemas.

En este contexto, según Horstmann (2007), se requieren acciones coordinadas para controlar la generación de residuos marinos tanto en sus fuentes terrestres como acuáticas. Un proceso de planificación participativa, que involucre a actores de distintos niveles de gestión, es fundamental para generar una visión compartida sobre la situación actual y las tendencias futuras del desarrollo regional. Esto permitiría definir responsabilidades claras y establecer estrategias conjuntas para la gestión integral de residuos sólidos, basadas en aportes sustanciales de los

sectores involucrados en la región. La adopción de estas medidas contribuiría significativamente a la reducción de residuos en humedales costeros y al fortalecimiento de la gestión ambiental en estos ecosistemas.

4.5. Implicancias para la conservación y futuras investigaciones

La conservación de los humedales costeros requiere un enfoque multidisciplinario que incluya estrategias de prevención, monitoreo y restauración. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de políticas públicas orientadas a la reducción de residuos, así como la necesidad de establecer planes de manejo adaptativos que consideren la dinámica ecológica de estos ecosistemas.

Se recomienda realizar estudios a largo plazo sobre el impacto de los residuos en la biodiversidad y evaluar estrategias de remediación efectivas. Como parte de este enfoque, se planea la realización de un monitoreo a más largo plazo en un humedal específico, con el objetivo de generar una base de datos completa de al menos un año. Esto permitirá analizar la variabilidad estacional en la presencia y composición de RA, proyectar estos resultados a otros humedales y realizar comparaciones que contribuyan a comprender mejor la dinámica de la contaminación en estos ecosistemas.

Asimismo, la integración de tecnologías de monitoreo remoto y ciencia ciudadana podría mejorar la recopilación de datos y la toma de decisiones en la gestión ambiental. Fomentar la educación ambiental y la participación comunitaria será clave para la implementación de programas sostenibles que aseguren la protección de estos ecosistemas frente a las crecientes presiones antrópicas. Se recomienda que las instituciones responsables de la gestión de humedales asuman un rol más activo en la aplicación de protocolos de monitoreo para garantizar su continuidad en el tiempo.

Según un estudio de Coneo & Causil (2020), donde realizaron una encuesta en la que se preguntó: “¿Cuáles son las razones por las que las personas arrojan basura en la playa?”, el 46% de las respuestas indicaron que esto ocurre por “falta de cultura y educación”, mientras que un

22% señaló que se debe a que “no hay suficientes basureros”. Estos resultados evidencian la necesidad de conjugar medidas de educación ambiental y gestión pública de espacios naturales para abordar de manera efectiva la problemática de la contaminación en ecosistemas costeros. Implementar estrategias de sensibilización y reforzar la infraestructura de disposición de residuos podría reducir significativamente la cantidad de residuos depositados en los humedales, promoviendo un cambio cultural hacia la conservación de estos entornos.

En línea con estas iniciativas, el 30 de octubre de 2023, un grupo de 31 empresas del sector hotelero y gastronómico firmó un Acuerdo de Producción Limpia (APL), impulsado por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático de CORFO y la Asociación Gremial de Empresas de Turismo de Concón. Este acuerdo busca fomentar la sostenibilidad en las empresas del sector turístico en la zona de Concón-Mantagua mediante la adopción de medidas enfocadas en la eficiencia energética, la gestión adecuada de residuos y la conservación de humedales. A través de la transferencia de conocimientos, la implementación de buenas prácticas y la incorporación de tecnologías de Producción Limpia, se pretende mejorar la competitividad del sector, al mismo tiempo que se minimiza su impacto ambiental (MMA-ONU Medio Ambiente, 2024). Este tipo de iniciativas refuerza la importancia de la colaboración entre el sector privado, las autoridades locales y la comunidad en la gestión sostenible de los ecosistemas costeros.

Para estudios futuros, se recomienda ampliar la cantidad de humedales analizados, incluyendo aquellos con menor urbanización para contrastar resultados. También se sugiere evaluar otras variables ambientales, como la calidad del agua y la biodiversidad presente, para una caracterización más completa del impacto antrópico en estos ecosistemas. Adicionalmente, sería valioso diferenciar de manera más detallada las fuentes de los residuos con el fin de diseñar estrategias específicas para su mitigación.

El fortalecimiento del monitoreo ambiental debería considerar la integración de nuevos indicadores ecológicos que evalúen la respuesta de la biodiversidad a la presencia de RA. Además, aplicar estos índices en distintos períodos del año permitiría analizar su variabilidad estacional y obtener una visión más completa de la dinámica ambiental de los humedales. La

combinación de estos esfuerzos permitirá avanzar hacia una gestión sostenible de los humedales de la Región de Valparaíso y su conservación a largo plazo.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar la calidad ambiental y el grado de intervención antrópica en humedales costeros de la Región de Valparaíso, estableciendo una relación entre la intervención humana y la contaminación por residuos antropogénicos (RA). Los resultados obtenidos permitieron validar la hipótesis inicial, confirmando que los humedales con mayor grado de intervención antrópica presentan una mayor acumulación de RA y un deterioro significativo en su estado ambiental. Sin embargo, también se evidenció la influencia de otros factores, como la hidrodinámica del ecosistema y la gestión local de residuos, los cuales pueden contribuir a la acumulación de basura en humedales con menor intervención antrópica.

5.1. Clasificación de los humedales costeros según su grado de intervención antrópica

El análisis del Índice de Eco-Erosión (IEE) permitió clasificar los humedales en distintos niveles de intervención antrópica, identificando que la mayoría de los humedales evaluados presentan un alto o extremadamente alto nivel de urbanismo. La comparación con estudios previos confirma que el litoral central de Chile es una de las zonas costeras más intervenidas del país, lo que genera una presión constante sobre estos ecosistemas, sumado a que es de las regiones que recibe una gran cantidad de turistas año tras año. Humedales como Marga Marga y Aconcagua presentaron los valores más elevados de intervención, mientras que Pullally, al estar ubicado en un área protegida, registró el menor grado de intervención.

5.2. Cuantificación y caracterización de los residuos antropogénicos

El estudio evidenció que los humedales con mayor intervención urbanización presentan mayores densidades de RA, con predominancia de plásticos, los cuales constituyen el 70% del total de residuos recolectados. Este patrón se asemeja a estudios nacionales e internacionales sobre contaminación costera, destacando la acumulación de plásticos de pequeño tamaño (<2,5 cm), los cuales pueden fragmentarse y convertirse en microplásticos. La predominancia de este tipo de RA, indica que estos son de tipo doméstico y no industriales. La comparación con estudios

previos indica que la densidad de RA en los humedales costeros de la Región de Valparaíso es superior a la reportada en otros ecosistemas costeros de Latinoamérica y el mundo. Por otra parte, en términos de biomasa, vemos un cambio en los ítems más relevantes, ya que los ítems mas abundantes no necesariamente son los suman mas biomasa. Es importante definir qué tipo de metodología se utilizará para la caracterización de los RA. Si bien por biomasa es más sencillo obtener los datos, estos pueden ser menos preciso que la cuantificación por unidad de RA.

5.3. Evaluación del estado ambiental de los humedales costeros

Los índices de calidad ambiental utilizados (ILC, IAP e IEA) permitieron evaluar el estado ambiental de los humedales, evidenciando que aquellos con mayor intervención presentan condiciones más deterioradas. El humedal de Marga Marga fue clasificado con un estado "malo" en el IEA, el cual destacó por su alta densidad de RA y su gran cantidad de residuos peligrosos. En contraste, humedales menos intervenidos, como Pullally y Tunquén, mostraron una menor acumulación de RA y mejores condiciones ambientales. Estos resultados refuerzan la importancia de establecer estrategias de mitigación y restauración en humedales con alto impacto urbano.

5.4. aplicación y Validación de un protocolo de monitoreo de residuos

El protocolo de monitoreo propuesto fue aplicado y validado en el humedal del Aconcagua, demostrando su efectividad en la evaluación de RA en humedales costeros. Sin embargo, su implementación presentó desafíos, como la baja participación comunitaria, la falta de recursos y la necesidad de ajustar la clasificación de residuos para mejorar la eficiencia del proceso. La posibilidad de inclusión del protocolo en el Plan de Gestión Ambiental del humedal del Aconcagua representa un avance en la institucionalización del monitoreo ambiental, permitiendo su posible replicabilidad en otros humedales de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aimone-Arredondo, G. (2018). Plásticos en el Mar. *Revista Marina* 135(964): 31-35. https://revistamarina.cl/es/articulo/el-plastico-en-el-mar

Araújo, M. C., & Costa, M. (2007). An analysis of the riverine contribution to the solid waste's contamination of an isolated beach at the Brazilian Northeast. *Management of Environmental Quality, 18*, 6–12. https://doi.org/10.1108/14777830710717677

Alkalay, R., Pasternak, G., & Zask, A. (2007). Clean-coast index: A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management, 50*(5-6). https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.10.002

Astorga, D., & Manríquez, V. (2009). Contribución ecológica del Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral, Comuna El Tabo, Región de Valparaíso, Chile. Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental, Departamento de Biología y Ciencias Ambientales, Universidad de Valparaíso, Valparaíso.

Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., & Sobral, P. (2020). Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: A showcase on the Atlantic Coast. The Science of the Total Environment, 736, 139632. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139632

Barba-Macías, E. (2009). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia, 22*(2), 101-110.

Barraza, D., & Ponce, P. (2014). Caracterización ecológica del humedal de Mantagua, Región de Valparaíso, como base para su protección y conservación. Trabajo de titulación para conseguir el título de Ingeniero Ambiental, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Ambientales, Valparaíso.

Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. (2015). *Marine anthropogenic litter*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3

Berlanga-Robles, C., Ruiz-Luna, A., & Lanza, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales en México. *Investigaciones Geográficas, 66*, 25-46.

Blettler, M., Abrial, E., Khan, F., Sivri, N., & Espinola, L. (2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Research, 143*, 416-424. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.015

Bravo, M., Gallardo, M. de los A., Luna-Jorquera, G., Núñez, P., Vásquez, N., & Thiel, M. (2009). Anthropogenic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): Results from a national

survey supported by volunteers. *Marine Pollution Bulletin, 58*(11), 1718–1726. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.017

Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*, 1212. https://doi.org/10.3390/ijerph17041212

Carson, H. S., Lamson, M. R., Nakashima, D., Toloumu, D., Hafner, J., Maximenko, N., & McDermid, K. J. (2013). Tracking the sources and sinks of local marine debris in Hawai'i. *Marine Environmental Research, 84*, 76–83. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.12.002

Censo de Población y Vivienda. (2017). Default. https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda

Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin, 62*(10), 2199–2204. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030

Clichevsky, N. (2006). Regularizando la informalidad del suelo en América Latina y el Caribe: Una evaluación sobre la base de 13 países y 71 programas. CEPAL, Serie Manuales (50), Santiago de Chile. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5615

Clunes, J., Valle, S., Dörner, J., Campos, M., Medina, J., Zuern, S., & Lagos, L. (2022). Changes in Soil Quality of an Urban Wetland as a Result of Anthropogenic Disturbance. *Land*, *11*(3), 394. https://doi.org/10.3390/land11030394

Correa, A., Urrutia, F., & Figueroa, R. (2011). Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos del agua dulce de Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 84, 325-340. https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000300002

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin, 62*(12), 2588–2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Comisión Europea. (2019). *Directiva (UE) 2019/904 sobre la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente*. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea.

Consejo de Derechos Humanos. (2016). *Derechos humanos y el medio ambiente: Resolución 32/33*.

Convención de Ramsar. (1971). *Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitats para aves acuáticas*.

Convención de Ramsar. (2013). *Ramsar Convention on Wetlands: Strategic Plan 2016-2024*. Ramsar Convention Secretariat. Gland, Switzerland.

Convención sobre los Humedales. (2021). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021*. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.

Council of Human Rights. (2017). *Informe del Relator Especial sobre la cuestión de las obligaciones de derechos humanos relacionadas con el disfrute de un medio ambiente sin riesgos, limpio, saludable y sostenible* (A/HRC/34/49). United Nations Human Rights Council.

Cooper, J. (1994). Sedimentary processes in the river-dominated Mvoti estuary, South Africa. *Ceomorphology, 9*, 271–300. https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90050-7

Contreras López, M., Figueroa Sterquel, R., Salcedo Castro, J., Vergara Cortés, H., Zuleta, C., Bravo, V., & Cortés Molina, F. (2017). Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central. (pp. 227-246). Universidad Autónoma de Campeche.

Coneo, P. A., & Causil, V. (2020). Evaluación de la cantidad de residuos sólidos y del índice de costa limpia en la playa La Coquerita, Coveñas - Sucre (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Ambiental, Montería, Colombia.

Da Costa, J., Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2020). *The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures*. EPRS: European Parliamentary Research Service. Bélgica. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2020)658279

Davidson, N. C., Van Dam, A. A., Finlayson, C. M., & McInnes, R. J. (2019). Worth of wetlands: revised global monetary values of coastal and inland wetland ecosystem services. *Marine And Freshwater Research*, *70*(8), 1189. https://doi.org/10.1071/mf18391

Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin, 44*(9), 842–852. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5

Ley No.21412, Modifica Cuerpos Legales Que Indica, Para Evitar La Contaminación Con Colillas De Cigarrillos, Entre Otras Materias, Febrero, 1, 2022, Diario Oficial [D.O.] (Chile).

Eriksen, M., Maximenko, N., Thiel, M., Cummins, A., Lattin, G., Wilson, S., Hafner, J., Zellers, A., & Rifman, S. (2013). Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin, 68*(1–2), 71–76. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.021

Ergas M & Thiel, M. (2022). III *Muestreo Nacional de Basura en los Ríos de Chile*. Científicos de la Basura, Universidad Católica del Norte. 28 pp. https://cientificosdelabasura.ucn.cl/wp-content/uploads/2023/09/Informe_III_Muestreo_Rios.pdf

Elosegi A & Sabater S (2009) Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA, 444 pp.

Fariña, J. & A. Camaño. (2012). Humedales costeros de Chile: Aportes científicos a su Gestión Sustentable. 1 ed. Chile: Ediciones UC. 464p.

Figueroa, A., Contreras, M. Saavedra, B., & Espoz, C. (2016) Chilean Wetlands: Biodiversity, Endemism, and Conservation Challenges. The Wetland Book, 1-17 pp. Springer Science+Business Media, Dordrecht, the Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_247-1

Figueroa, R., Suárez, M. L., Andreu, A., Ruiz, V. H., & Vidal-Abarca, M. R. (2009). *Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile central*. *Gayana, 73*(1), 76–94. https://doi.org/10.4067/S0717-65382009000100011

Galgani, F., Leaute, J. P., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., Goraguer, H., Latrouite, D., Andral, B., Cadiou, Y., Mahé, J. C., Poulard, J. C., & Nerisson, P. (2000). Litter on the sea floor along European coasts. *Marine Pollution Bulletin, 40*(6), 516–527. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00234-9

Garcia-Garin, O., Borrell, A., Aguilar, A., Cardona, L., & Vighi, M. (2020). Floating marine macro-litter in the North Western Mediterranean Sea: Results from a combined monitoring approach. *Marine Pollution Bulletin*, *159*, 111467. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111467

Grupo Huala. (2018). Humedal Salinas de Pullally. Recuperado el 22 de febrero de 2018, de https://grupohuala.wordpress.com/salinas-de-pullally/

Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research, 87–88*, 12–18. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015

Hinojosa, I. A., & Thiel, M. (2009). Floating marine debris in fjords, gulfs, and channels of southern Chile. *Marine Pollution Bulletin, 58*(3), 341–350. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.10.020

Honorato-Zimmer, D., Kiessling, T., Gatta-Rosemary, M., Campodónico, C. K., NúñezFarías, P., Rech, S., & Thiel, M. (2021). Mountain streams flushing litter to the sea–Andean rivers as conduits for plastic pollution. Environmental Pollution, 291, 118166. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118166

Horstmann, J. (2007). Baseline study on marine debris and municipal waste management in Chiloé-Corcovado, Southern Chile (Tesis de Maestría). Universidad Austral de Chile & University of Dortmund, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Programa de Maestría en Planificación y Gestión del Desarrollo Regional. Valdivia, Chile.

Horwitz, P., & Kretsch, C. (2015). Contribution of biodiversity and green spaces to mental and physical fitness, and cultural dimensions of health. In *Connecting global priorities: Biodiversity and human health: A state of knowledge review* (pp. 200–220). World Health Organization and Secretariat for the Convention on Biological Diversity.

Iturraspe, R.J., Fank, L., Urciuolo, A.B., & Lofiego, R. (2021). Efectos del crecimiento urbano sobre humedales costero-continentales del ambiente semiárido de Tierra del Fuego, Argentina. Investigaciones Geográficas, (75), 139-165. https://doi.org/10.14198/ INGEO.17586

Kaviarasan, T., Naik, S., Sivadas, S., Dhineka, K., Sambandam, M., Sivyer, D., Mishra, P., & Murthy, M. R. (2020). Assessment of litter in the remote beaches of Lakshadweep Islands, Arabian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, *161*, 111760. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111760

Kiessling, T., Salas, S., Mutafoglu, K., & Thiel, M. (2017). Who cares about dirty beaches? Evaluating environmental awareness and action on coastal litter in Chile. *Ocean & Coastal Management, 137*, 82–95. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.029

Krelling, A., Williams, A.T., Turra, A., (2017). Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. Mar. Pol. 85, 87–99. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.021

Kiessling, T., Knickmeier, K., Kruse, K., Brennecke, D., Nauendorf, A., & Thiel, M. (2019). Plastic Pirates sample litter at rivers in Germany–Riverside litter and litter sources estimated by schoolchildren. Environmental Pollution, 245, 545-557. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.025

Langford, E., 2006. Quartiles in elementary statistics. *J. Stat. Educ.* 14 (3), 1–6.

Lehn, H., McPhee, J., Vogdt, J., Schleenstein, G., Simon, L., Strauch, G., Barbieri, C. H. G., Gatica, C., & Niño, Y. (2011). Risks and Opportunities for Sustainable Management of Water Resources and Services in Santiago de Chile. En *Springer eBooks* (pp. 251-278). https://doi.org/10.1007/978-3-642-11544-8_12

Lin, M., Lin, T., Sun, C., Jones, L., Sui, J., Zhao, Y., Liu, J., Xing, L., Ye, H., Zhang, G., & Li, X. (2019). Using the Eco-Erosion Index to assess regional ecological stress due to urbanization – A case study in the Yangtze River Delta urban agglomeration. *Ecological Indicators*, *111*, 106028. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106028

Martin, C., Almahasheer, H., & Duarte, C. M. (2019). Mangrove forests as traps for marine litter. *Environmental Pollution*, *247*, 499-508. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.067

Maund, P. R., Irvine, K. N., Lawson, B., Steadman, J., Risely, K., Cunningham, A. A., & Davies, Z. G. (2020). What motivates the masses: Understanding why people contribute to conservation citizen science projects. *Biological Conservation, 246*, 108587

Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. *Frontiers in Ecology and the Environment, 9*(10), 552–560. https://doi.org/10.1890/110004

Mellado Tigre, C. (2008). Caracterización Hídrica y Gestión Ambiental del Humedal de Batuco. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103029

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2011). *Plan de Gestión Ambiental de Humedales Costeros en Chile*. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

Ministerio Medio Ambiente – ONU Medio Ambiente. (2023). *Plan de Gestión Integral del humedal de Mantagua y sus subcuencas aportantes*. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

Ministerio Medio Ambiente-ONU Medio Ambiente, 2024. Humedales Costeros - Un mundo en constante movimiento: Humedal Desemocadura río Aconca-gua y Mantagua. Elaborado por Asesorías ÉticaMente. Proyecto GEF/SEC ID:9766 "Conservación de humedales costeros de lo zona Centro-Sur de Chile". Ministerio del Medio Ambiente. Viña del Mor, Chile. 26 pp.

Muxika, I., Borja, Á., & Bald, J. (2007). Using historical data, expert judgement, and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin, 55*(1–6), 16–29. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.05.025

Muñoz Lobos, C. A. (2018). *Oportunidades y desafíos para la protección del humedal de Pichicuy, Comuna de La Ligua: Una perspectiva desde la gobernanza ambiental* (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).

Naciones Unidas. (2020). *World's population increasingly urban: The 2018 revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Recuperado de https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/urbanization.asp

Nachite, D., Maziane, F., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2019). Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users. *Ocean & Coastal Management*, *179*, 104846. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104846

Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Perillo, G. M. E., Turner, R. E., Ashan, D., … Kuenzer, C. (2020). Anthropogenic, direct pressures on coastal wetlands. *Frontiers in Ecology and Evolution, 8*, 144. https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00144

Negrete J, Figueroa R, De Kartzow P, Salcedo J, Figueroa P, Meza V, Soto E, Flores L, Araya M. Portal ME, Cosio F, Sepúlveda JI, Cartoni S, Pereira A, Pérez P, Allesch R, Vargas V & Larraguibel C. (2015). Diagnostico de sitios de alto valor para la conservación en la región de Valparaíso. Línea 1. Portafolio del sitio Humedal de Mantagua Vol. 1: Líneas base, 225 pp.

Niemelä, J., Saarela, SR., Söderman, T. *et al.* Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodivers Conserv* **19**, 3225–3243 (2010). https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8

OMS. (2019). Microplastics in drinking-water. World Health Organization, Geneva, Switzerland

OSPAR Commission. (2010). *Guideline for monitoring marine litter on the beaches in the OSPAR maritime area* (Edición 1.0). OSPAR Commission.

OSPAR Commission. (2020). *CEMP Guidelines for marine monitoring and assessment of beach litter* (OSPAR Agreement 2020-02). OSPAR Commission.

Ocean Conservancy. (2023). International Coastal Cleanup Annual Report 2023. Ocean Conservancy.

Paduani, M. (2020). Microplastics as novel sedimentary particles in coastal wetlands: A review. *Marine Pollution Bulletin, 161*(Part A), 111739. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111739

Paredes, J. (2010). Biodiversity loss and its implications for wetland ecosystems. *Conservation Biology, 24*(1), 45–56. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01425.x

Pinchi Villanueva, K. R. (2022). Evaluación de la contaminación por plásticos en playas del río Nanay, región Loreto - 2021 (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Ambiental, San Juan Bautista, Maynas, Loreto, Perú.

Rangel-Buitrago, N. (2018). Urban growth and its impact on wetlands: A global perspective. *Urban Ecology Journal, 19*(2), 156–168. https://doi.org/10.1007/s11423-018-0895-4

Rangel-Buitrago, N., Vergara-Cortés, H., Barría-Herrera, J., Contreras-López, M., & Agredano, R. (2019). Marine debris occurrence along Las Salinas beach, Viña Del Mar (Chile): Magnitudes, impacts and management. *Ocean & Coastal Management*, *178*, 104842. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104842

Rangel-Buitrago, N., Barría-Herrera, J., Vergara-Cortés, H., Contreras-López, M., & Agredano, R. (2020b). A snapshot of the litter problem along the Viña del Mar - Concón coastal strip, Valparaíso region, Chile. *Marine Pollution Bulletin*, *160*, 111524. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111524

Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin, 82*(1-2), 66–75. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019

Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., & Martínez, C. (2015). Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitano. *Revista de GeografíA Norte Grande*, *61*, 181-204. https://doi.org/10.4067/s0718-34022015000200010

Rojas, O., Mardones, M., Martínez, C., Flores, L., Sáez, K., & Araneda, A. (2018). Flooding in Central Chile: Implications of Tides and Sea Level Increase in the 21st Century. *Sustainability*, *10*(12), 4335. https://doi.org/10.3390/su10124335

Rojo-Nieto, E., & Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: Orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global* (p. 54). Ecologistas en Acción.

Rovira, J. (2006). *Informe y diagnóstico de la basura marina en Chile. Plan de acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste* (56 p.). Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Guayaquil, Ecuador.

Romanelli, C., Cooper, H., Campbell-Lendrum, D., Maiero, M., Karesh, W., Hunter, D., & Golden, C. (2015). Connecting global priorities: Biodiversity and human health, a state of knowledge review. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3679.6565

Schulz, M., Neumann, D., Fleet, D. M., & Matthies, M. (2013). A multi-criteria evaluation system for marine litter pollution based on statistical analyses of OSPAR beach litter monitoring time series. *Marine Environmental Research*, *92*, 61-70. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.08.013

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2004). *Informe sobre la conservación de humedales en Chile*. SAG, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

Servicio Nacional de Turismo. (2023). Turismo proyecta casi 2 millones de viajes para Fiestas Patrias. *Servicio Nacional de Turismo*. https://www.sernatur.cl/turismo-proyecta-casi-2-millones-de-viajes-para-fiestas-patrias/

Stephania, P. D. D. (2010). *Determinación de amenazas en humedales urbanos : Estudio de tres humedales de Valdivia, Chile*. http://biblioteca.cehum.org/handle/123456789/706

Taillardat P, Thompson BS, Garneau M, Trottier K & Friess DA. (2020) Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration. Interface Focus 10: 20190129. http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2019.0129

Thiel, M., Hinojosa, I., Vásquez, N., & Macaya, E. (2003). Floating marine debris in coastal waters of the SE-Pacific (Chile). *Marine Pollution Bulletin, 46*(2), 224–231. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00365-X

Thiel, M., Bravo, M., Hinojosa, I. A., Luna, G., Miranda, L., Núñez, P., Pacheco, A. S., & Vásquez, N. (2011). Anthropogenic litter in the SE Pacific: An overview of the problem and possible solutions. *Journal of Integrated Coastal Zone Management, 11*(1), 115–134.

Thiel, M., Hinojosa, I., Miranda, L., Pantoja, J., Rivadeneira, M., & Vásquez, N. (2013). Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. *Marine Pollution Bulletin*, *71*(1-2), 307-316. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.005

Vitousek, P. (1997). Human impacts on the ecosystems and biodiversity of wetlands. *Ecological Studies, 120*, 75–92. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2352-7_5

Vidal-Abarca MR, Suárez ML &Gómez R (2000). Los humedales: ecosistemas para conservar. En: Calvo, JF, Esteve MA & López Bermúdez F (Eds). Biodiversidad: Contribución a su conocimiento y conservación en la Región de Murcia. Pp. 149-162. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia, España.

Vilca, A. J. G., Aponte, H., & Gonzales, S. (2023). ¿Cómo proteger los humedales costeros peruanos? Una respuesta a partir de un modelo conceptual de sus impulsores de cambio. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *52*(2), 125-142. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2023.52.2.1218

Voigt, K., Brüggemann, R., & Pudenz, S. (2006). A multi-criteria evaluation of environmental databases using the Hasse Diagram Technique (ProRank) software. *Environmental Modelling & Software, 21*(11), 1587–1597. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.05.005

Wagner, M., Engwall, M., & Hollert, H. (2014). Editorial: (Micro)Plastics and the environment. *Environmental Sciences Europe, 26*, 16. https://doi.org/10.1186/s12302-014-0016-3

Williams, A. T., & Simmons, S. L. (1997). Estuarine litter at the river/beach interface in the Bristol Channel, United Kingdom. *Journal of Coastal Research, 13*, 1159–1165.

Williams, A. T., & Simmons, S. L. (1999). Sources of riverine litter: The river Taff, South Wales, UK. *Water, Air, and Soil Pollution, 112*, 197–216. https://doi.org/10.1023/A:1005000724803

Xi, Y., Peng, S., Ciais, P., & Chen, Y. (2021). Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change*. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2

Yaghmour, F. (2020). Anthropogenic mortality and morbidity of marine turtles resulting from marine debris entanglement and boat strikes along the eastern coast of the United Arab Emirates. *Marine Pollution Bulletin, 153*, 111031. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111031

Zhou, P., Huang, C., Fang, H., Cai, W., Li, D., Li, X., & Yu, H. (2011). The abundance, composition and sources of marine debris in coastal seawaters or beaches around the northern South China Sea (China). *Marine Pollution Bulletin, 62*(9), 1998–2007. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.018