

Metodología para la Delimitación y Zonificación de Humedales Costeros de Tipo Mediterráneo

A Methodology for Coastal Wetland Delineation and Zoning in Mediterranean Environments

Daniela Vásquez Contreras
Geógrafo
Concepción
E-mail: dvasquezc@udec.cl

Resumen

Se propone una metodología para la delimitación y zonificación de humedales costeros en ambientes de tipo mediterráneo para su uso en Planificación Territorial. Esta metodología se aplicó a dos humedales de la Región del Biobío, Chile (Lenga y Tubul-Raqui) en condiciones previas al terremoto del 27/F de 2010. Para ello se seleccionaron variables físico-naturales con representación espacial para su uso en SIG. De estas, la flora entregó el mejor criterio de diferenciación espacial del biotopo en ambos humedales a través de la especie *Spartina densiflora*. Agregando variables socio-económicas, se determinó la presión por antropización.

Palabras clave: costa, antropización, Planificación Territorial, biodiversidad.

Abstract

*A methodology for coastal wetland delineation and zoning in mediterranean environments is proposed, which aims to aid Territorial Planning. It was applied over two wetlands of the Biobío Region, Chile (Lenga and Tubul-Raqui). Variables of the natural setting were selected as input for a GIS processing. In both wetlands, flora gave the best criteria for spatial differentiation from the biotopo, using *Spartina densiflora* specie. Afterwards, socio-economics variables were added, determining the stress due to anthropization.*

Key words: coast, anthropization, Territorial Planning, biodiversity.

Introducción

Los humedales están asociados a una gran variedad de ambientes morfoclimáticos y condiciones de generación. Son reconocidos como uno de los ecosistemas más productivos e importantes a nivel mundial (Tiner, 1985; Mitsch y Gosselink, 2000; Perillo y Syvitsk, 2010) y de especial interés

para la conservación de la biodiversidad de variadas especies de flora y fauna. La complejidad de las variables físicas, químicas y biológicas que interaccionan en el funcionamiento de estos espacios hace que sean altamente sensibles a la degradación por presión antrópica. Han sido definidos como “biotopos de composición y estructura compleja, de delicado equilibrio ecológico



en donde interactúan los ámbitos terrestre, atmosférico y acuático (ecotono), siendo la variabilidad de las formas y procesos, tanto en el tiempo como en el espacio y a diversas escalas, una de sus características más notables” Margalef (1987 en Viñals, 1999). A nivel mundial, se han realizado variados esfuerzos por mejorar esta situación, enfocados en la elaboración de herramientas para la delimitación, clasificación, control, investigación y protección. Entre estos esfuerzos, se menciona la adopción de un tratado intergubernamental conocido mundialmente como convenio Ramsar, que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales, contando en la actualidad con 159 partes contratantes (Ramsar, 1971).

En la Región del Biobío, Chile, existe una gran concentración de humedales de diferentes tipos, relacionados a importantes sistemas fluviales y otros cuerpos de agua menores permanentes o semi-permanentes. En el caso particular del Área Metropolitana de Concepción, numerosos humedales se encuentran insertos dentro del límite urbano, conviviendo diariamente con las actividades y funciones urbanas que se entrelazan dentro del área de la segunda metrópolis más importante del país. Tal es el caso de Lengua, un humedal de tipo marisma con influencia mareal, desarrollado sobre una amplia llanura de sedimentación fluvio-marina de unos 6 km² ubicada en la bahía de San Vicente. Este humedal está rodeado al noreste por el polo petroquímico energético de Talcahuano. Por otro lado, también existen humedales que a pesar de estar fuera del alcance de actividades urbanas, reciben los efectos de otras actividades que amenazan su calidad ambiental, como ocurre con los vertidos químicos provenientes de la actividad forestal muy proliferante en la región desde hace ya varias décadas y también de la actividad agrícola-ganadera, desarrollada por los pequeños asentamientos

rurales. Este último es el caso del humedal Tubul-Raqui, que se extiende sobre una llanura de sedimentación fluvio-marina de unos 230 km² asociada a un sistema de cuencas interconectadas que drenan al Golfo de Arauco. Hoy este humedal está siendo gestionado como sitio Ramsar.

En la Región del Biobío, se han catastrado unos 300 humedales de los cuales 61 se localizan en la intercomuna. Smith y Romero (2009) establecieron que como consecuencia del proceso de urbanización, los humedales del Área Metropolitana de Concepción han perdido cerca del 40% de la superficie que poseían en 1975. Debido a esto y dado que no existen metodologías de fácil integración a las necesidades de la planificación territorial que posibiliten la zonificación de estos espacios, se estableció como objetivo de esta investigación, elaborar una metodología para delimitar y zonificar humedales costeros de ambientes de tipo mediterráneo, utilizándose como casos de estudio los humedales de Lengua y Tubul-Raqui, ambos caracterizados por ser marismas salobres con inundación periódica. A partir de la selección de variables representativas del medio físico y posibles de tratar por medio de sensoramiento remoto y Sistemas de Información Geográficos, se propone una delimitación y zonificación para cada humedal, a las cuales se vinculan elementos del medio antrópico, considerados aquí como estresores del medio natural, con el propósito de localizar áreas de presión antrópica que sean fácilmente tratados desde el punto de vista de la planificación territorial. Con ello se espera incluir para este tipo ambientes las figuras de manejo, protección o conservación en los instrumentos de planificación territorial, para lograr usos sustentables.

1. Área de Estudio

Los humedales de Lengua y Tubul-Raqui se localizan en el litoral de la Región del Biobío

Chile centro-sur (Fig. 1), entre los 37°45'-37°14' Sur y los 73°10'-73°26' Oeste, en una zona climática de transición entre un clima

templado mediterráneo cálido y un clima templado húmedo o lluvioso.

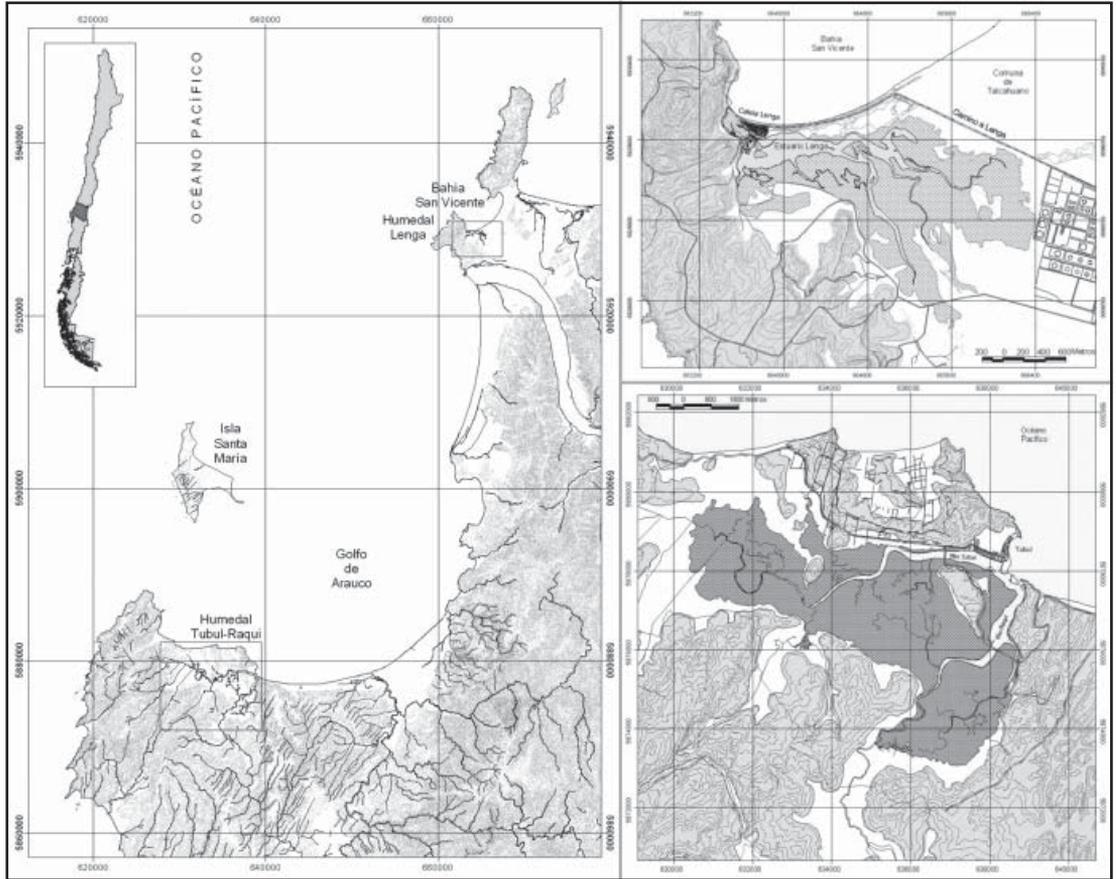


Figura 1: Contexto geográfico de los humedales de Lenga y Tubul-Raqui.

Fuente: Elaboración propia.

El primero se encuentra ubicado en el extremo suroeste de la Bahía de San Vicente, emplazado sobre la llanura de sedimentación fluvial del río Bío-Bío. Esta llanura fue originada durante los ciclos marinos del Cuaternario, donde se realizó la redistribución de los sedimentos del río Bío-Bío. El segundo se encuentra asociado a las cuencas costeras de los ríos Tubul y Raqui. Se localiza en el extremo sur del Golfo de Arauco (37° 13' S y 73° 26' O). Este humedal se considera como el más importante de la región debido a su gran extensión que

alcanza unas 2.238 hectáreas y porque alberga una gran variedad de especies de aves residentes y migratorias, así como también diversas especies de vegetación, entre las que destaca la hierba perenne *Spartina densiflora* que se distribuye ampliamente en el sector de la marisma. El sistema hidrográfico que alimenta al humedal, se inserta en una secuencia de plataformas de erosión marina situadas en las proximidades de la vertiente occidental de la cordillera de la costa.

2. Materiales y Métodos

Los humedales fueron seleccionados en función de su homogeneidad geomorfológica

y de su biota colonizadora. Para la delimitación y posterior zonificación de los humedales, se elaboró una metodología constituida por 3 etapas principales (Fig. 2):

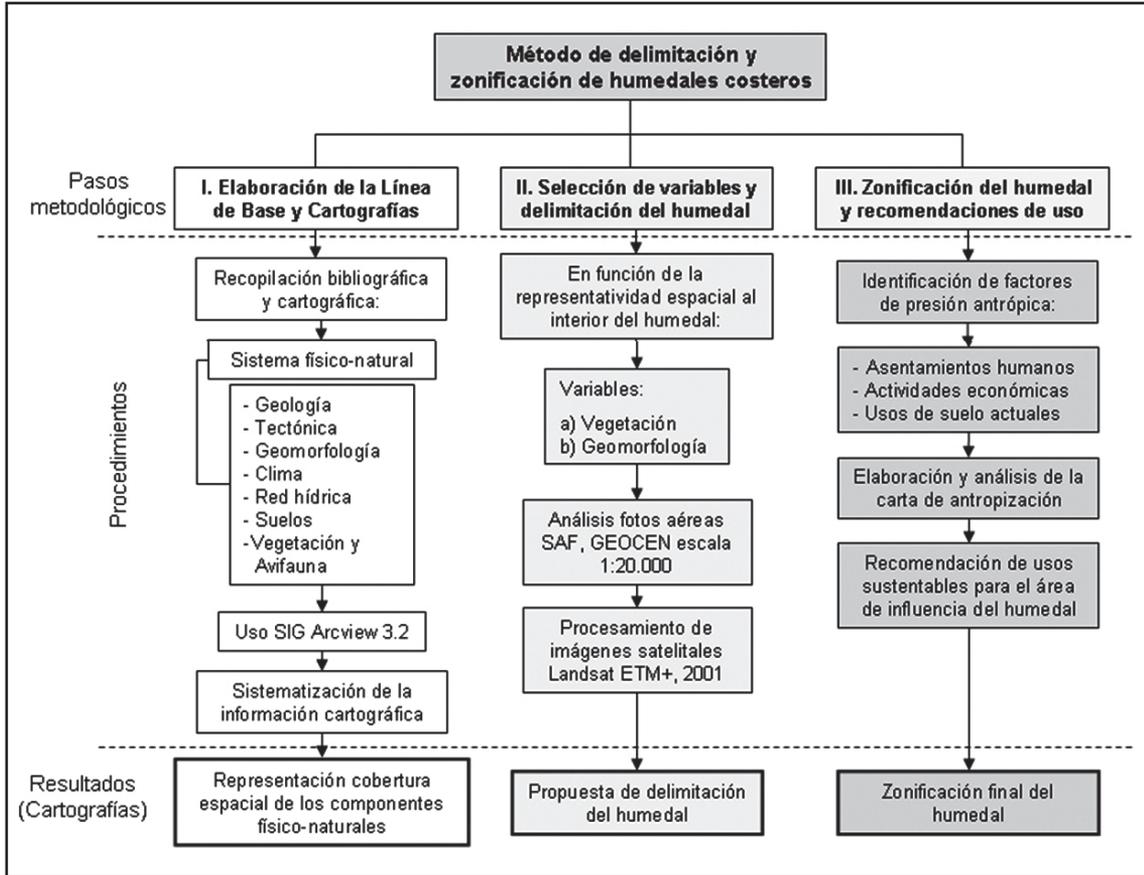


Figura Nº 2: Esquema metodológico general.

Fuente: Elaboración propia.

2.1 Elaboración de la línea de base y cartografías

Se recopilaron antecedentes bibliográficos del área, con énfasis en sus características físico-naturales. A partir de lo anterior, se generaron cartografías para representar e integrar cada una de las variables a través del uso de plataforma SIG. La información de base para generar cada cartografía fue extraída de estudios y archivos en formato digital preferentemente en formato compatible con el software utilizado para

trabajar (Arcview GIS 3.2.). Debido a la diversidad de las fuentes empleadas se realizó la compatibilización de los sistemas de referencia geométricos en el Dátum WGS 84, Huso 18 y se efectuó la depuración y corrección conforme al nivel de detalle deseado 1:5000.

2.2 Selección de variables representativas y delimitación del humedal

Para precisar la extensión permanente del humedal se optó por definir un indicador

que reuniera las siguientes características: estabilidad temporal (resistencia ante perturbaciones), expresión cartográfica, cuantificable y recubrimiento considerable en el área (Corps of Engineers Wetland Delineation Manual, 1987). Este indicador correspondió a la especie herbácea *Spartina densiflora*, por ser la especie de mayor predominancia en ambos humedales. La *Spartina densiflora* fue detectada mediante el procesamiento de la imagen satelital Landsat ETM⁺ p001r86_7x20011222 (2001), correspondiente al sector comprendido entre el extremo sur del Golfo de Arauco y la Bahía de San Vicente. Para implementar la plataforma de sensoramiento remoto se utilizó el software ENVI 4.0 con el despliegue de las bandas espectrales 2, 3, 4 y 7, siendo calibradas y redimensionadas para crear subescenas específicas para los humedales. Se aplicaron los índices NDVI, DVI, IPVI (Chuvienco, 1996), de los cuales el índice DVI fue el más apto para resaltar la vegetación del humedal (pastizal salino). Para corroborar la fiabilidad de la información entregada por el indicador, se realizaron salidas a terreno al humedal de Lengua en mayo de 2009 y al humedal de Tubul-Raqui en agosto del mismo año, cuyo fin fue posicionar un mínimo de 10 puntos GPS en distintos sectores de la marisma colonizada por la especie indicadora para ser correlacionados y posicionados sobre la imagen satelital, obteniéndose así el valor de los píxeles correspondientes a la marisma.

Los puntos de muestreo fueron registrados en el Dátum WGS-84 y proyección UTM, Huso 18 Sur, por ser el sistema de referencia utilizado por las imágenes satelitales LANDSAT ETM⁺ del área de estudio. A partir de los valores de píxel obtenidos, se determinó un rango de píxeles correspondientes a marisma, con lo cual se redujo el intervalo de valores representados en el índice DVI utilizando la herramienta *Stretch Data*, logrando resaltar e individualizar el pastizal

salino del resto de la información entregada por la imagen satelital en tonalidades oscuras (exceptuando al océano). Posterior a ello, se corroboró nuevamente la información generada utilizando la herramienta Scatter Plot desplegando la información de NIR (Banda 4) en el eje X y RED (Banda 3) en el eje Y sobre un histograma que correlaciona ambas bandas. Se resaltó el área de la marisma en color rojo encerrando el área al interior del histograma que reúne la mayor agrupación de píxeles correspondientes a pastizal salino. Finalmente, una vez procesadas las subescenas de la imagen satelital para resaltar el área de los humedales (pastizales salinos), se exportaron las imágenes generadas por medio del *Stretch Data* y Scatter Plot a formato JPG, para posteriormente ser visualizadas y georreferenciadas en el software Arcview 3.2. Como apoyo a la variable vegetación, se utilizó el contexto geomorfológico del área, generado a partir de fotointerpretación de las fotografías aéreas escala 1:20.000 realizadas por GEOCEN y SAF del año 1992. Para comprobar la fiabilidad de la información proporcionada por los fotogramas se calculó el nivel de representación del píxel según la fórmula propuesta por Araujo et al. (2008). A partir de la combinación de la información obtenida mediante el procesamiento de la imagen satelital Landsat ETM⁺ (2001) y la fotointerpretación de las fotografías aéreas GEOCEN y SAF, se logró determinar y delimitar el área correspondiente a humedal. Luego se digitalizó el polígono correspondiente al área de extensión permanente de los humedales.

3. Zonificación del humedal y recomendaciones de uso

La propuesta de zonificación fue elaborada a partir de los resultados obtenidos del análisis de los factores socio-económicos que se constituyen como estresores del medio físico. Los principales estresores del medio físico seleccionados fueron: la

densidad de población, el reemplazo de la vegetación nativa por vegetación introducida y la presión ejercida por el desarrollo extensivo de la actividad industrial y/o agroganadera. Las recomendaciones de uso y las respectivas restricciones propuestas para la zona del humedal y para las zonas circundantes, se fundamentaron en el criterio de la sustentabilidad, utilizando

como referencia el nivel de antropización obtenido de la aplicación de la Matriz de Análisis Multicriterio (Cuadro N°1). Esta última zonifica cada unidad geomorfológica según el puntaje obtenido en: Alto grado de antropización (puntaje sobre 10), Medio grado de antropización (puntaje entre 7 y 9) o Bajo grado de Antropización (puntaje inferior a 7) integrándose a través de SIG.

Cuadro 1:
Matriz de análisis multicriterio aplicado a los humedales.

Variable/ Unidad geomorfológica	Densidad de Población (>60 p.; Alta; 59 a 20 p. Media; 20 p. < Baja)	Accesibilidad (Asfalto=Alta; Ripio=Media; Sendero=Baja)	Tipo de Vegetación (Introducida =Alta; Mixto=Media; Nativa=Baja)	% Ocupación Actividad Forestal (>80% Alta; 79 a 40% Media; 40%< Baja)	% Ocupación Actividad Agrícola (>80% Alta; 79 a 40% Media; 40%< Baja)	Total	Nivel de Antropización
Sistema Montañoso	2	1	2	2	2	9	Medio
Terraza Nivel I	3	3	2	2	3	13	Alto
Terraza Nivel II	2	2	2	3	1	10	Alto
Terraza Nivel III	2	1	3	3	1	10	Alto
Meseta	1	1	2	2	1	7	Bajo
Acantilados	1	1	1	1	1	5	Bajo
Quebradas	1	1	1	1	1	5	Bajo
Llanuras Anegadizas	1	1	3	1	3	9	Medio
Llanura Aluvial	2	2	2	1	3	10	Alto
Llanura Litoral	1	1	1	1	1	5	Bajo
Marisma Litoral	1	1	1	1	2	6	Bajo
Dunas	1	2	1	2	1	7	Medio
Playas	2	2	2	1	2	9	Medio

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

A partir de la información recopilada para elaborar la línea de base, fotointerpretación y análisis cartográfico, se desprende que ambos humedales corresponden según el Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales Marinos y Costeros establecida por el convenio internacional RAMSAR sobre conservación de humedales, a un humedal tipo H de Pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales, teniendo en cuenta la gran extensión de sus pastizales salinos ligados a la marisma. Sin embargo, han quedado clasificados como humedal de marisma estuarial (Shaffer y Yozzo, 1998) según el criterio geomorfológico, debido a que la biota se compone mayoritariamente por especies adaptadas a condiciones de salobridad por el continuo intercambio y mezcla de flujos de agua dulce y salada que se realiza en área estuarial. La marisma está compuesta por la asociación *Sacocornio-Spartinentum densiflorae* (San Martín et al., 1992), reconocida por Stuardo et al., (1993) como la especie de mayor dominancia.

El humedal de Lengua, corresponde a un humedal tipo marisma extendido sobre una llanura de sedimentación fluvio-marina de topografía plana con intercalaciones de pequeños altos topográficos correspondientes a dunas internas, recibiendo hasta la actualidad la influencia del ambiente

marino y fluvial. Esta influencia se hace presente a través de las corrientes de marea que penetran por medio de la desembocadura del estero Lengua y por medio de los aportes de régimen pluvial-fluvial colectados por la pequeña cuenca receptora de este estero. El humedal se encuentra fuertemente influenciado por la intervención antrópica circundante, tales como los grandes complejos industriales y los caminos, los cuales han sido responsables de reducir la superficie del humedal y enmarcarlo netamente dentro de los límites administrativos de la comuna de Hualpén, reduciendo el patrón natural de distribución del humedal. El extremo sur de la Bahía de San Vicente se puede dividir a grandes rasgos en dos unidades de relieve bien definidas: los sectores altos conformados por el Macizo Peninsular de Hualpén junto a las terrazas de erosión marina y los sectores bajos que forman parte de la Llanura Fluviovolcánica de Concepción-Talcahuano, que es donde se inserta el humedal de Lengua (Fig. 4). Esta Llanura, también denominada Llanura Baja o Llanura de agradación, está construida en su mayor parte con detritos de la Cordillera de los Andes transportados por el río Bío-Bío, siendo la parte superior de un antiguo delta. La superficie original del delta, aparentemente llana y casi horizontal, se presenta ahora modificada por la actividad de los procesos fluviales, como lo inciden los niveles aterrizados, por dunas, marismas costaneras y barras litorales (Galli, 1967).

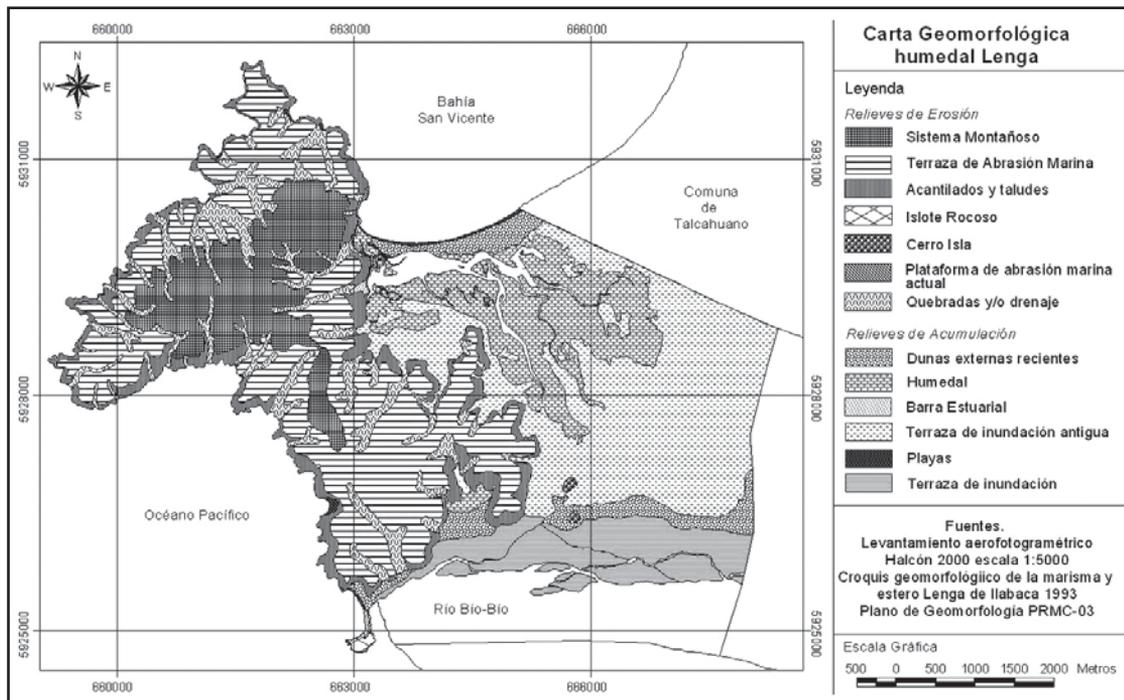


Figura 4: Carta geomorfológica del humedal de Lengua.

Fuente: Elaboración propia en base a Ilabaca 1993

El humedal Tubul-Raqui se desarrolla en una amplia llanura costera asociada a extensas zonas de marismas, siendo su configuración actual producto de la intensa actividad tectónica registrada durante el Plioceno reciente con los consecuentes procesos de relleno y depositación de sedimentos (Pineda, 1983). El aumento de las áreas anegadas y/o el potenciamiento de los procesos de inundación, se debe en gran medida a la obstrucción paulatina del drenaje producto de la intensa actividad tectónica. Esta llanura se desarrolla con una morfología plana, con muy escasas pendientes, cuya planicie baja es sólo interrumpida por la presencia de un fragmento de terraza marina de nivel inferior (menor a 50 metros), la cual ayuda a dividir los sistemas hidrográficos que únicamente se interconectan en la desembocadura (Fig. 5). Gran parte del humedal descansa sobre el Cuaternario reciente, en depósitos de arenas negras

y sedimentos fluviales y de playa. El humedal está rodeado por 3 niveles de terrazas de abrasión marina con alturas máximas de 300 m.s.n.m., de pendientes moderadas debido al intenso trabajo de erosión realizado por el océano durante las regresiones y transgresiones marinas. Sin embargo, es posible observar que la unidad geomorfológica inmediatamente colindante al humedal, corresponde a llanuras anegadizas, influenciadas fuertemente tanto por la hidrología del humedal como por la hidrología de las cuencas de los ríos Tubul y Raqui. Estas llanuras se caracterizan por poseer especies de pastos dulces y ser utilizadas principalmente para el desarrollo de las actividades agrícola-ganaderas, presentando considerables variaciones respecto al nivel de humedad entre los meses de otoño-invierno y primavera verano.

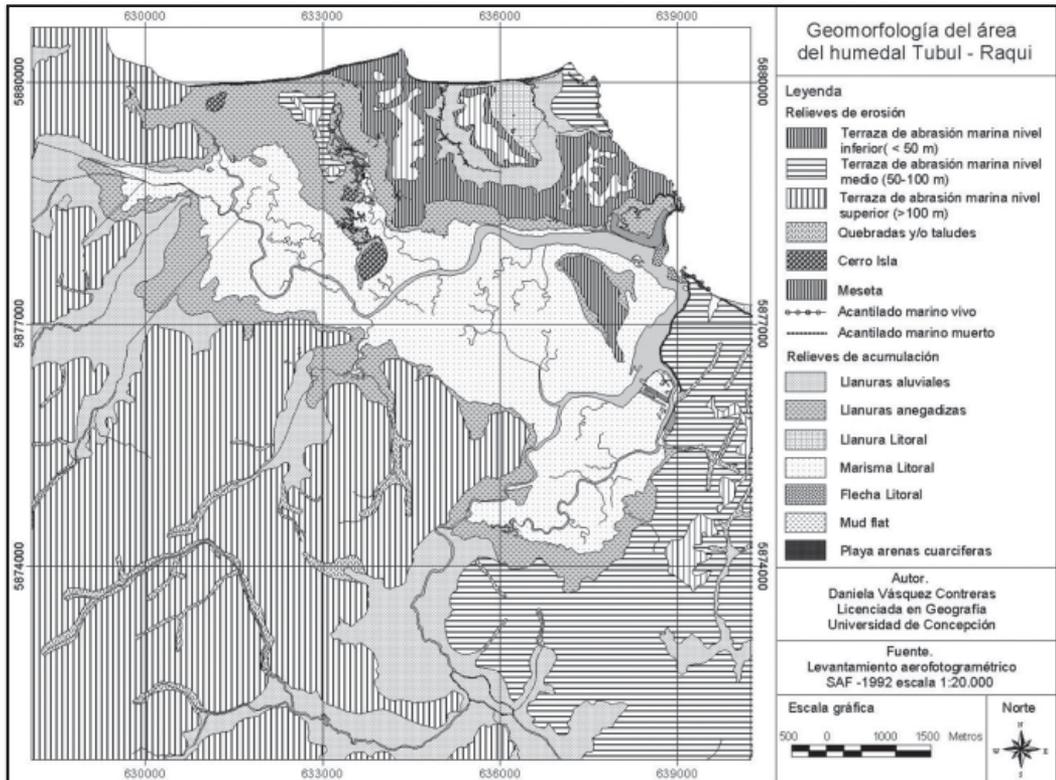


Figura 5: Geomorfología del área del humedal Tubul - Raqui

Fuente: Elaboración propia.

El área de extensión del humedal, es resultado de la combinación de las características geomorfológicas y de la selección del indicador biótico asociado a la especie *Spartina densiflora*, el cual se ha desarrollado mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat ETM⁺ (2001), con la generación del 3 índices de los cuales el índice Difference Vegetation Index (DVI) (Fig. 6 y 7) ha sido el más indicado para resaltar el área de la marisma luego de su posterior procesamiento mediante las herramientas *Stretch Data* (Fig. 8 y 9) y *Scatter Plot* (Fig. 10 y 11). Según los cálculos de superficie realizados con el software Arcview GIS 3.2, el área permanente del humedal Lengua tiene 434 hectáreas, mientras que para el humedal Tubul-Raqui, es de 2.238 hectáreas. Estas áreas corresponden a aquella zona donde el humedal permanece la mayor parte del año, a través de la colonización de la

especie dominante *Spartina densiflora* y en menor proporción de la especie de similares características de adaptación *Sarcocornia fruticosa*. La zonificación propuesta (Fig. 14 y 15), establece que las unidades morfológicas representativas en ambos humedales son las llanuras anegadizas y las llanuras aluviales que presentan diferente desarrollo como resultado de los efectos de la intrusión salina y de las crecidas pluviales. Las Cartas de Antropización de los humedales de Lengua y Tubul-Raqui (Fig. 12 y 13), reflejan el nivel de presión de aquellos elementos del sistema socio-económico sobre estos ambientes, estableciéndose para el humedal de Lengua un alto nivel de antropización por parte de las unidades colindantes, tales como la llanura baja ocupada por el polo petroquímico de la comuna de Hualpén, actividad que ha modificado considerablemente el paisaje reduciendo la superficie del humedal desde

la década del 70' hasta la fecha. El humedal Tubul-Raqui aún permanece con un bajo nivel de antropización debido al carácter rural de esta zona, a pesar del extensivo desarrollo de la actividad forestal sobre las terrazas de abrasión marinas circundantes. Para ambas áreas se establecen recomendaciones de uso basadas en los resultados obtenidos de la caracterización física y del nivel de antropización donde

se prioriza el uso racional de las diferentes unidades del humedal: turismo de baja densidad en las llanuras colindantes y borde costero para integrar esta zona al resto del entorno urbano; conservación para evitar el aumento de la degradación en aquellos lugares afectados por las actividades económicas principalmente de alto impacto (caso Lenga).

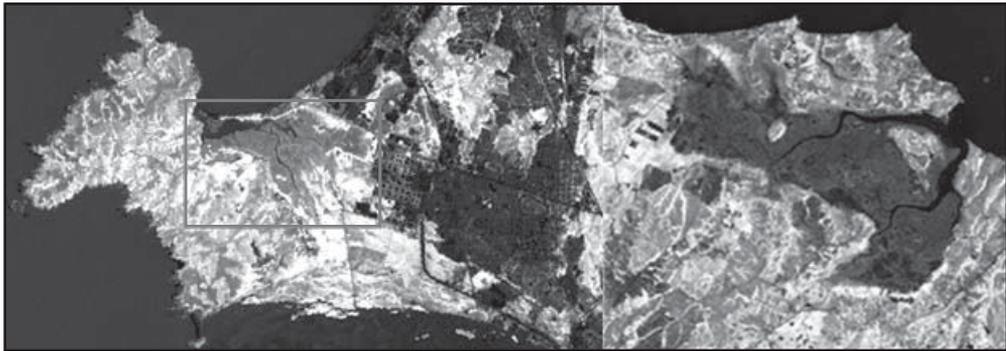


Figura 6: Índice DVI del humedal Lenga

Figura N° 7: Índice DVI del humedal Tubul-Raqui

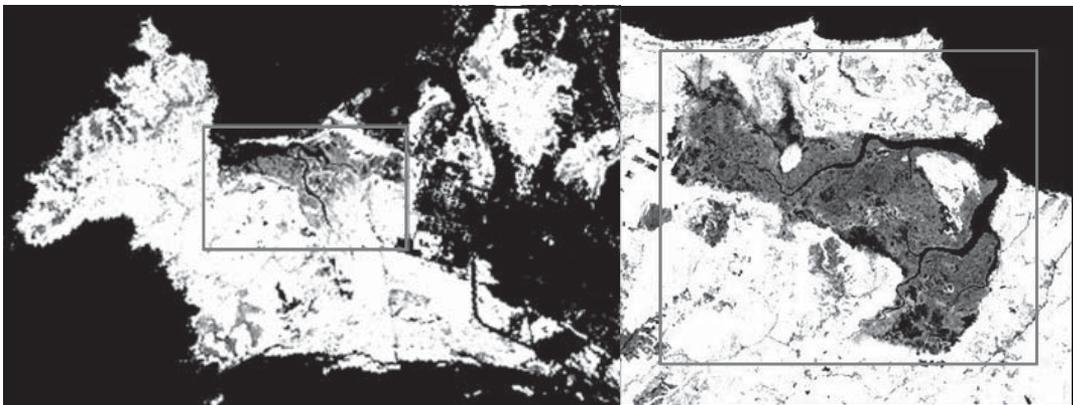


Figura 8: Stretch data humedal Lenga

Figura 9: Stretch data humedal Tubul-Raqui



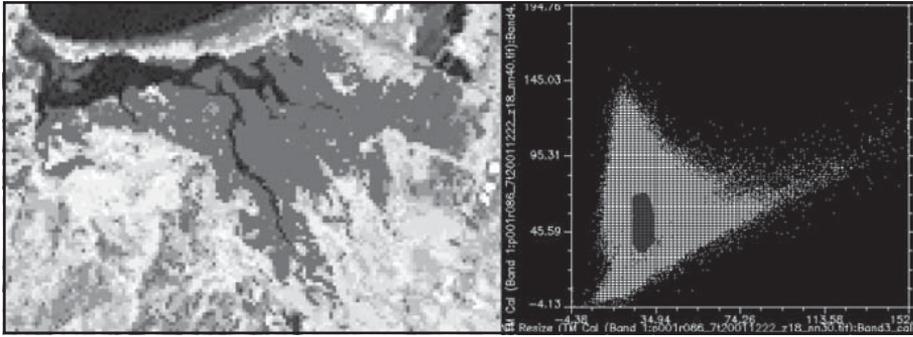


Figura 10: Scatter plot de la subescena del humedal de Lenga

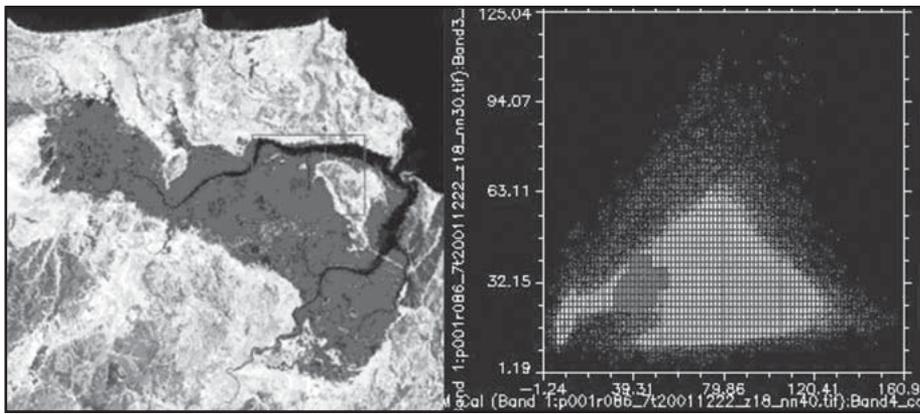


Figura 11: Scatter plot de la subescena del humedal de Tubul-Raqui

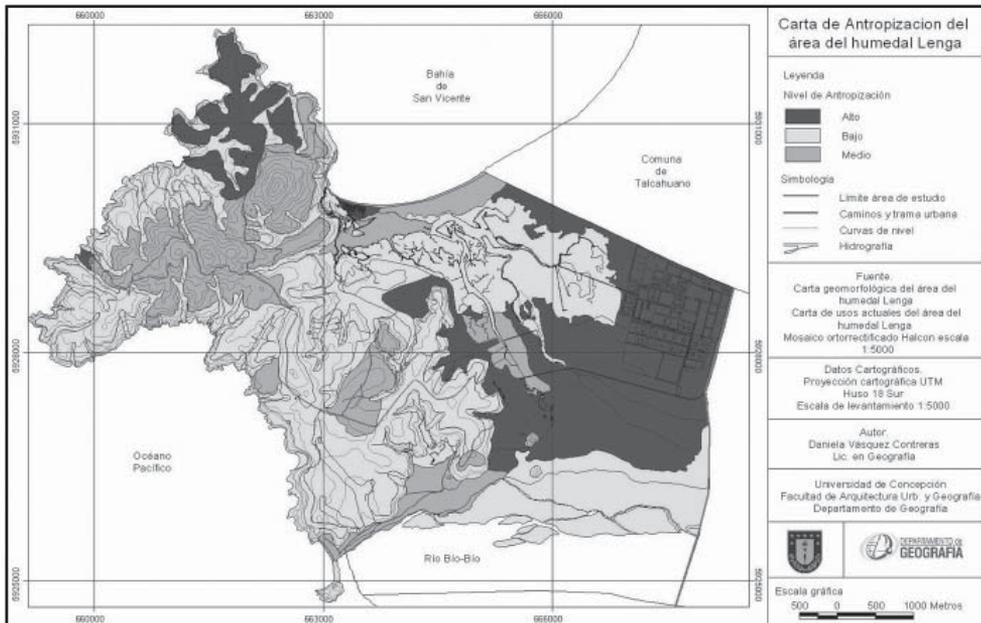


Figura 12: Carta de antropización del área del humedal Lenga

Fuente: Elaboración propia.

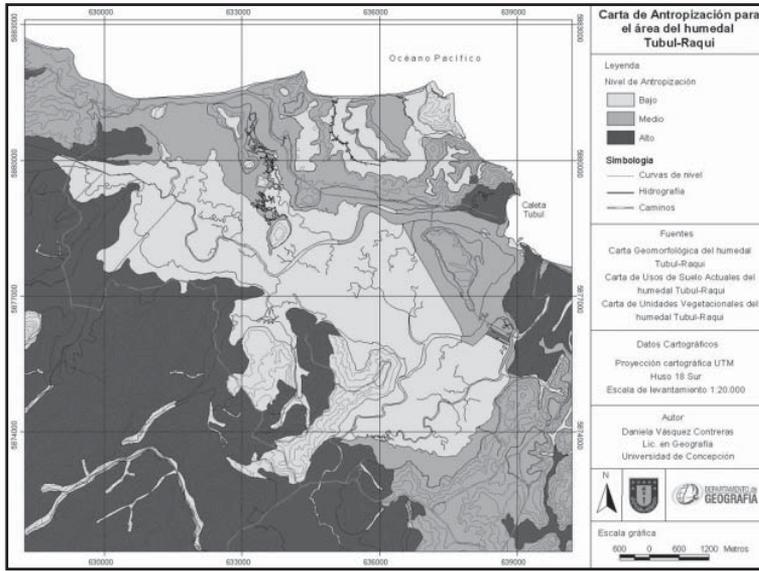


Figura 13: Carta de antropización del área del humedal Tubul-Raqui
Fuente: Elaboración propia.

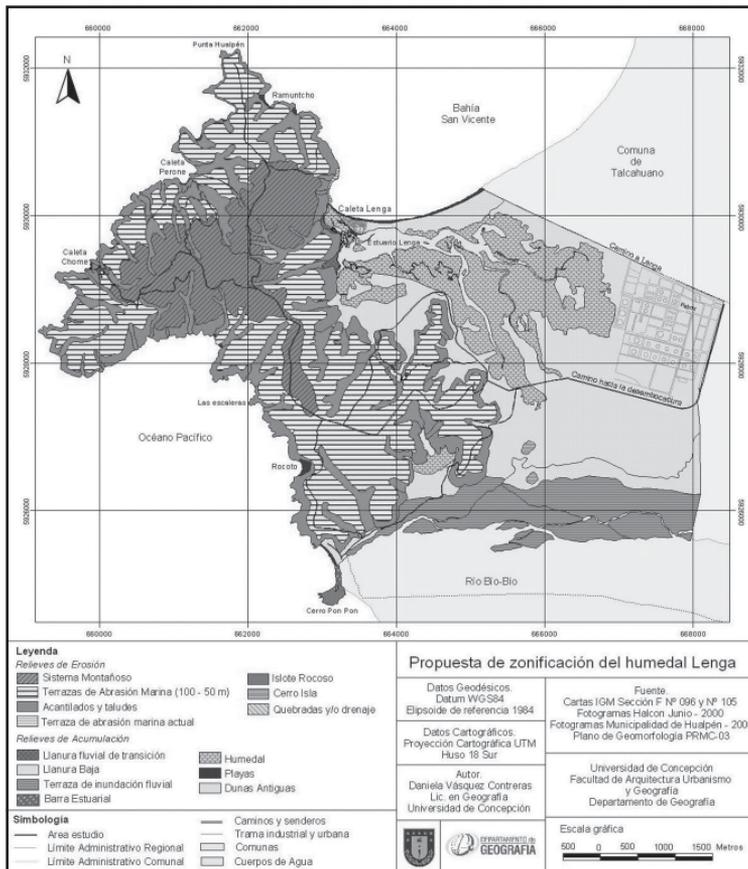


Figura 14: Zonificación para el humedal Lengua
Fuente: Elaboración propia, en base a Plano Geomorfología PRMC-03

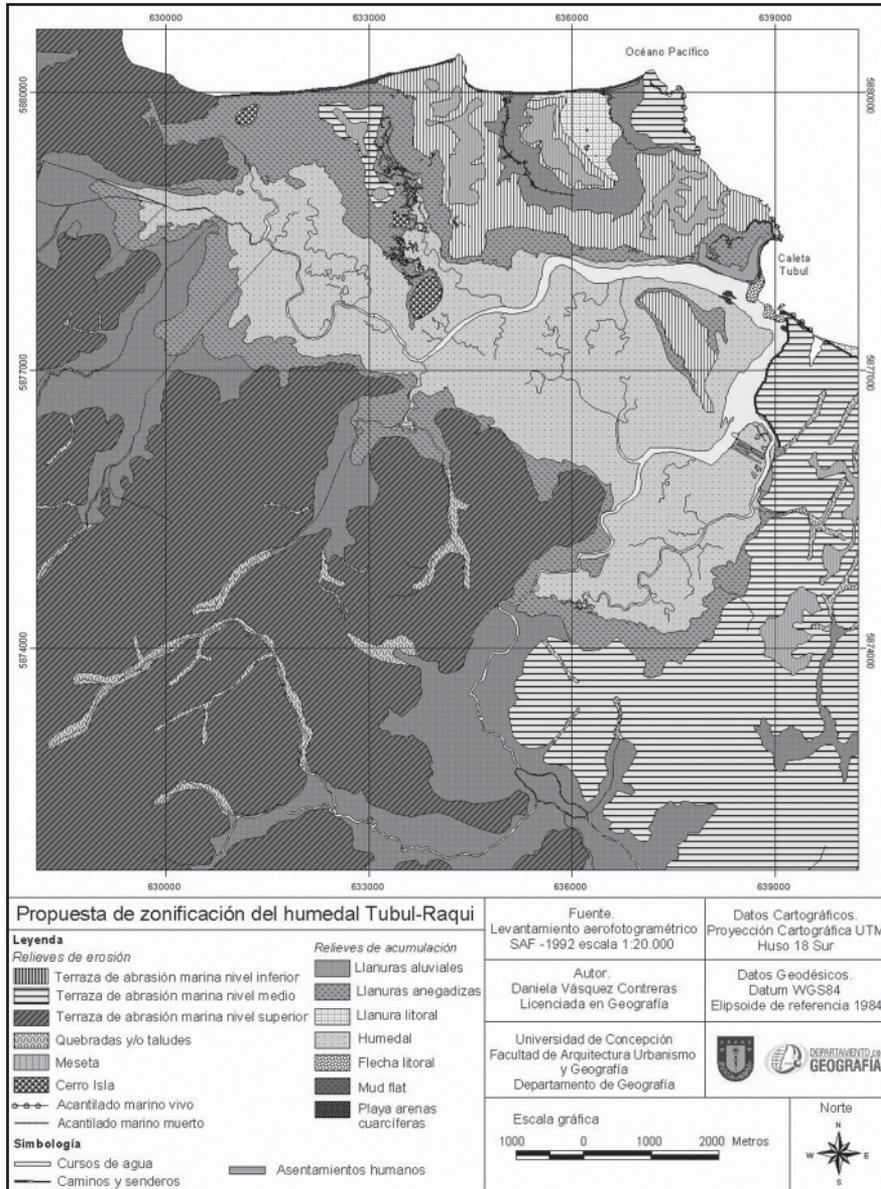


Figura 15: Zonificación para el humedal Tubul-Raqui

Fuente: Elaboración propia

5. Discusión y Conclusiones

La creciente urbanización que experimentan las áreas costeras afectan especialmente los humedales que quedan confinados en grandes urbes o entre conurbaciones. Esto último obliga a buscar alternativas metodológicas que permitan una efectiva incorporación a los

instrumentos de planificación territorial o a las microzonificaciones que requiere la gestión integrada de las áreas litorales (GIAL). En este caso, se ha propuesto una metodología que puede ser utilizada en los primeros niveles de la toma de decisiones al momento de separar usos alternativos de suelo en función de las características de fragilidad de un ambiente costero

y posteriormente, profundizar ciertas características de estos ambientes, de acuerdo a objetivos específicos tales como generar planes de manejo o proponer áreas protegidas. Se destacan en esta investigación, dos aspectos principales: la viabilidad y los alcances de la metodología en la planificación del territorio y el uso de la vegetación como principal criterio de diferenciación en humedales costeros:

Por un lado, se trata de una metodología simplificada y de fácil aplicabilidad para cualquier tipo de organismo público o privado que desee incorporar a los humedales como unidad de planificación, el análisis geomorfológico en correlación con el análisis de la vegetación se comportan como variables de viable manipulación cartográfica y factibles de ser manejadas por cualquier tipo de organismo con un mínimo conocimiento de las herramientas ofrecidas por los SIG, con apoyo de la utilización de fotografías aéreas e imágenes satelitales Landsat TM+, que son recursos disponibles, que están gratuitamente en la red, o en los servicios públicos encargados de levantar información territorial. El apoyo de las técnicas de sensoramiento remoto es importante debido a que: (1) permiten obtener una visión integrada de un amplio territorio con una buena resolución espacial, (2) proveen datos multiespectrales, (3) la información puede ser procesada digitalmente mediante computadores, y (4) se puede obtener información periódica (Stuardo et al., 1993). Estas herramientas han sido indispensables para el análisis de los atributos de las áreas de estudio y su cuantificación. Apesar de ello, se recomienda en el caso de las imágenes satelitales, asegurar una resolución inferior a 20 m/píxel. En este caso, la resolución fue de 28.5 m/píxel. Sin embargo, esta limitación fue mejorada utilizando fotografías aéreas para vuelos bajos y trabajo en terreno para validar los resultados. Este criterio metodológico

por lo tanto, puede ser generalizado para humedales de similares características, independiente de la superficie que exhiban las marismas.

Por otro lado, Cowardin et al., (1985) reconoce el rol que ejerce la vegetación como información fiable y de fácil fotointerpretación, desde los primeros intentos de clasificación de los humedales a mediados de los 80' en Estados Unidos, a cargo del Servicio Nacional de Pesca y Vida Silvestre. Por otro lado autores, tales como (Diekmann, 2003; Kollmann y Fisher, 2003; Ellenberg, 1950, 1974, 1992 en Peña-Cortés et al., 2008), han señalado la utilidad de las comunidades vegetales o de determinados grupos florísticos como indicadores de las características del hábitat así como también de las condiciones ambientales. Estos criterios ya han sido utilizados en Chile para analizar el nivel de antropización en humedales costeros de la Región de la Araucanía (Peña-Cortés et al., 2008). Por otro lado, pequeñas variaciones en la temperatura o salinidad del agua como resultado de vertidos industriales o residenciales generan alteraciones en el desarrollo de la productividad primaria y organismos bentónicos asociados a los humedales (Martins et al., 2010).

La vegetación de una u otra forma ha sido considerada por distintos especialistas como un indicador clave para analizar los humedales, debido a que a partir de ella es posible inferir la influencia o interacción de otro tipo de indicadores más complejos de analizar. De acuerdo a los resultados obtenidos para ambos humedales, se ha determinado que la variable vegetación o biota asociada a la especie dominante *Spartina densiflora*, es bastante común en las marismas de Chile centro-sur bajo la asociación vegetal denominada *Sacocornio-Spartinentum densiflorae* (San Martín et al., 1992) y se comportaría como uno de los

indicadores que mejor describe la distribución y extensión de los humedales costeros tipo marisma con influencia mareal en el ambiente morfoclimático mediterráneo. En Chile, estas formaciones vegetales son escasas, tienen reducida extensión y además, son poco conocidas (West, 1981; San Martín et al., 1992), lo que afianza la necesidad de contar con metodologías específicas para proteger este tipo de ambientes. Sin embargo, no es posible concluir si este indicador se comporta de la misma manera para la totalidad de los humedales de la región, debido a que la variabilidad y complejidad de estos puede resultar bastante dinámica incluso en ambientes de similares características. Para el caso específico de los humedales de Lengua y Tubul-Raqui, *Spartina densiflora* se comporta como un indicador evidente y simple de reconocer en terreno o mediante trabajo de gabinete, el cual es principalmente enfocado a la fotointerpretación, tanto de fotogramas aéreos como de imágenes satelitales de mediana resolución. La simplicidad de su reconocimiento se debe a que la distribución de los espartillares se realiza a través de clusters bastante densos y cohesionados, exhibiendo sólo en algunos sectores de la zona de transición entre la zona de humedal y las llanuras anegadizas colindantes, algunas agrupaciones menores y fragmentadas.

En asociación con *Spartina* está la especie *Sarcocornia fruticosa*, una asociación de marisma de gramíneas altas (1 m) donde domina *Spartina densiflora* que crece formando champas aisladas, de gran tamaño (hasta 1 m de diámetro) (San Martín et al., 1992). La distribución de esta especie suele estar determinada, en la gran mayoría de los casos, por la presencia de agua, que como bien lo indica Brinson (1993), se constituye como el fundamento de todos los humedales, siendo el hábitat de éstos resultado de la abundancia de agua. Por su alto nivel de humedad debido al periódico anegamiento del sustrato, las marismas

no sufren sequía estival y, por lo tanto, no muestran grandes variaciones estacionales en su aspecto fenológico (Ramírez et al., 1985), por lo que su utilización se hace bastante útil a la hora de analizar la evolución en una determinada escala temporal. Esta especie se destaca además por exhibir gran resistencia incluso ante ambientes de baja salinidad, lo que conlleva a que su distribución sea bastante exitosa en ambas áreas de estudio, ramificándose a través de canales que probablemente están exentos de la influencia del ambiente estuarial. Esto se explica debido a que las comunidades de marismas estudiadas corresponderían según San Martín et al., (1992), a biotopos extremos, reflejándose en la presencia de caméfitos, como es el caso de la *Sarcocornia fruticosa*, y la presencia de hemicriptófitos, como la *Spartina densiflora*, en el espectro biológico, las cuales corresponden a formas de vida muy resistentes a condiciones desfavorables. La distribución de la biota asociada a la *Spartina densiflora* exhibe claramente el patrón hidrológico bidireccional propio de los humedales de marisma con influencia mareal, tal como lo indica Brinson (1993), quien plantea que la vegetación a menudo proporciona importantes indicios sobre el trabajo de las fuerzas hidrogeomorfológicas en un ecosistema. A partir de ello, se observa mediante la observación de la cartografía generada y de las campañas de terreno, que la cohesión y densidad de los espartillares es mucho más notoria cercana a la zona estuarial y mucho más fragmentada cercana a la zona de mayor influencia de los aportes de agua dulce de los esteros que alimentan el sistema fluvial.

A pesar de ello, la distribución de los espartillares alcanza zonas interiores que alcanzan como máximo los 6 km. para el caso del humedal Tubul-Raqui, concordante con el mayor aporte de agua salina registrado por Stuardo et al., (1993), quien indica que el río Tubul exhibe una mayor influencia marina

debido a que presenta condiciones estuarinas durante todo el año, mientras que Constabel (1993) reafirma esta condición indicando que la intrusión de la marea por este sistema fluvial alcanza una extensión de 6 km. Como producto de estas condiciones, en la zona drenada por el río Tubul, la *Spartina densiflora* alcanza un mayor desarrollo e intrusión hacia el continente. En el caso del humedal Lengua ocurre una situación similar, con una menor extensión debido a que su superficie es considerablemente menor que la del humedal antes mencionado, alcanzando un máximo de intrusión de unos 3 km. en condiciones similares debido al efecto de la intrusión de la marea a lo largo del sistema fluvial del estero Lengua.

El nivel de antropización detectado en las áreas de estudio obedece a la influencia de las actividades humanas realizadas sin un manejo adecuado. Constabel (1993) indica que aproximadamente un 54% de la superficie del humedal Tubul-Raqui se encuentra en un avanzado estado de erosión, producto las prácticas agrícolas intensivas de fines de siglo pasado y mitad de este y por las actuales plantaciones de especies exóticas. Observaciones recientes de terreno constataron que la zona de transición entre humedal y llanuras anegadizas se encuentran fuertemente dominadas por la presencia de *Cotula coronopifolia*, también propia de pantano salobre, sin embargo, esta especie introducida y de menor presencia es un indicador de eutrofización según Ellenberg (1974), Klinka et al., (1989), Ramírez et al., (1991), Ellenberg et al., (1992) y Peña-Cortés et al., (2008). También es sabido que los habitantes del centro-sur de Chile utilizan las marismas como lugares de pastoreo para el ganado doméstico. El daño del pastoreo es doble, ya que, por un lado, extrae la biomasa vegetal y, por otro, destruye el microrelieve del suelo por el pisoteo, dada la fragilidad del sustrato (San Martín et al., 1992). Esto último indica que la

actividad agroganadera ha sido responsable de aumentar la colonización de especies introducidas, elevar los niveles de nitrógeno, debido a la eliminación de las heces animales y eliminar porciones de marisma para el desarrollo de esta actividad, lo cual ha sido determinante para ambos humedales. La agricultura, practicada a pequeña escala, en lugares donde antes prosperaban praderas salinas, provoca degradación del suelo, que lleva a la proliferación de la paja ratonera (Martínez et al., 1992).

Por otro lado, se destaca el rol ejercido por la actividad forestal desarrollada en las terrazas de abrasión marina colindantes al humedal Tubul-Raqui, como el principal agente de alteración antrópica en esta unidad geomorfológica, con implicancia directa o indirecta sobre la zona de humedal, debido a la excesiva tasa de introducción de especies exóticas y el reemplazo de las especies nativas, contribuyendo a la erosión de los suelos. “La deforestación de las cuencas ha producido un gran aumento del aporte de nutrientes, siendo este proceso la principal causa de eutrofización de muchos lagos” Armesto (1996 en Peña-Cortés et al., 2006). En general, los usos del suelo, la cobertura vegetal y el desarrollo de actividades agrícolas con inadecuadas técnicas de manejo, así como actividades forestales en la etapa de tala, inciden en el funcionamiento de los humedales (Peña-Cortés et al., 2008). El resto de las actividades desarrolladas al interior o en las cercanías de los humedales, tales como el cultivo de *Gracilaria*, tienen la particularidad de no ser tan impactantes, a pesar de desarrollarse al interior de la zona estuarial, debido a que este tipo de actividad aprovecha la condición natural de alta productividad que poseen estas zonas, por el activo intercambio entre agua dulce y salada.

Las futuras líneas de investigación en estos ambientes, deberían estar orientadas

a incluir en la metodología variables que incorporen parámetros físico-químicos y muestreos florísticos para validar y controlar la representación espacial a partir del uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Especialmente relevante será comparar estos resultados con próximas imágenes satelitales, fotogramas y trabajos de campo debido a que estos ambientes han sido fuertemente afectados por el terremoto M=8.8 y tsunami del 27 de febrero de 2010 en la costa centro-sur del país, dados los cambios en las funciones ecológicas registrados en estos humedales.

Bibliografía.

- BIRÓ-BAGÓCSKY, L. y SÁNCHEZ, A. (1993). Antecedentes Geológicos del río Lenga y áreas adyacentes. Concepción, VIII Región, Chile. Planificación y Gestión de la Zona Costera. Análisis de un caso: Lenga Concepción: EULA-Universidad de Concepción.
- BRINSON, M. (1993). "A hydrogeomorphic classification for wetlands," Technical Report WRP-DE-4, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. NTIS No. AD A270 053, 1-43 pp.
- CHUVIECO, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial, 3ª Edición, Madrid, Ediciones Rialp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE (1999). Evaluación del estado de Conservación de las Aves del Humedal de la Región del Bío-Bío, Chile. 38 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE (2003). Plan de Manejo Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén, Región del Bío-Bío, Chile, Diciembre 2003, pp. 5-17.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIOAMBIENTE (2006). Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica, Centro de Ecología Aplicada Ltda., Informe final, Diciembre 2006.
- COWARDIN, L., CARTER, V., GOLET, F. and LAHORE, E. (1979). "Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States", U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- DARMODY R. and FOSS J. (1979). Soil-Landscape Relationships of the Tidal Marshes of Maryland. Soil Science Society of America, 43:534-541.
- DAEHLER, C. and STRONG, D. (1996). "Status, prediction and prevention of introduced *cordgrass Spartina* spp. Invasions in Pacific estuaries, USA". Biological Conservation, 78: 51-58.
- ELLENBERG H. & MÜLLER-DOMBOIS, D. (1974). Aims and methods of vegetation ecology. John: Wiley. New York. 547 pp.
- ENVIRONMENTAL LABORATORY. (1987). Corps of Engineers Wetland Delineation Manual, Technical Report Y-87-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 12-34 pp.
- FIGUEROA, M. and CASTELLANOS. E. (1988). "Vertical structure of *Spartina maritima* and *Spartina densiflora* in Mediterranean marshes". En: Plant form and vegetation structure (eds M.J.A. Werger, P.J.M. van der Aart, H.J. During & J.T.A. Verhoeven), SPB Academic Publishing, The Hague, Holanda, 105-108 pp.

- GAJARDO A. C. (1981). Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Concepción-Chillán. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- GALLI, C. (1967). Geología Urbana y Suelo de Fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Informe Final del Proyecto de Investigación N° 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción, 65-71 pp.
- LIN H-J., SHAO K-T., CHIOU W-L., W. MAO C-J., HSIEH H-L., WU W-L., SEVERINGHAUS L.L. and WANG Y-T., (2003). "*Biotic communities of freshwater marshes and mangroves in relation to saltwater incursions: implications for wetland regulation*". Biodiversity and Conservation, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands. 12: 647-648.
- ILABACA P. (1993). Marisma y Estuario del estero Lengua: Evolución geomorfológica. Planificación y Gestión de la Zona Costera. Análisis de un caso:Lengua Concepción: EULA-Universidad de Concepción.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2002): Documento "Chile: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos", Censo 2002 Chile, Santiago, 175-188 pp.
- JIMÉNEZ, M. (1999). Evaluación del estado de Conservación de las aves de humedal de la Región del Bío Bío. Habilitación profesional, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción & CONAMA. 41 pp.
- MARTIN, V., FERREIRA, E., SEQUEIRA, C., ROCHA, F. and DUARTE, A. (2010). Evaluation of the ecological effects of heavy metal on the assemblages of benthic foraminifera of the canals of Aveiro (Portugal). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87: 293-304.
- MITSCH, C. and GOSELINK, J. (2000): Wetlands. 3ª Edición. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- PETERSON P., SORENG, R., DAVIDSE, G., ZULOAGA, F., FILGUEIRAS, T. and JUDZIEWICZ, E., (2001). Catalogue of New World Grasses (Poaceae): II. Subfamily Chloridoideae, Contr. U.S. Natl. Herb., Vol 1, 1-255 pp.
- PEÑA-CORTÉS, F., GUTIÉRREZ, P., REBOLLEDO, G., ESCALONA, M., HAUENSTEIN, E., BERTRÁN, C. y TAPIA, J. (2006). Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX región de la Araucanía, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, diciembre, número 036, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago Chile, 75-91 pp.
- PEÑA-CORTÉS, F., HAUENSTEIN, E., BERTRÁN, C., TAPIA, J., y SCHLATTER, R. (2008). Comparación florística y estado trófico basado en plantas indicadoras de lagunas costeras de la región de La Araucanía, Chile. Ecología Austral, 18: 43-53.
- QUINTANA V. (1993). Caracterización florística y Faunística de un Humedal Costero de la VIII Región. El caso del Estero Lengua. Planificación y Gestión de la Zona Costera. Análisis de un caso:Lengua Concepción: EULA-Universidad de Concepción.
- HUSSEIN, A. and RABENHORST, M. (2001). Modeling the Impact of Tidal

- Inundation on Submerging Coastal Landscapes of the Chesapeake Bay. *Soil Sci. Soc. Am J.* 65: 932-941.
- REED, D. (1987) "Temporal sampling and discharge asymmetry in salt marsh creeks," *Estuarine Coastal Shelf Science* 25: 459-466.
- RICHARDSON, J. and VEPRASKAS, M. (2001). *Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification. Chapter 8 Delineating Hydric Soils*, CRC Press LL.C, 183-185 pp.
- SAN MARTÍN, C., CONTRERAS, D., SAN MARTÍN, J. y RAMÍREZ, C. (1992). Vegetación de las marismas del centro-sur de Chile, *Revista Chilena de Historia Natural*, 65: 327-342.
- SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO (2002). Ordenanza y Plano PRMC-01 de Zonificación del Plan Regulador Metropolitano de Concepción, promulgado bajo la resolución Núm. 171 - Concepción con fecha 5 de Diciembre de 2002 y publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el martes 28 de Enero de 2003.
- SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO (2005). Modificación PRMC Península de Hualpén, promulgada bajo de resolución Núm. 112 - Concepción con fecha 28 de Noviembre de 2005 y publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el viernes 31 de Marzo de 2006.
- SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR (2007) *Uso racional de los humedales: Marco conceptual para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*, 3ª edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO. (2006). *Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales*. Centro de Ecología Aplicada Ltda., 4-12 pp.
- SHAFER, D. and YOZZO D. (1998). "National Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessment to Tidal Fringe Wetlands," U.S. Army Engineer Research and Development Center, Technical Report WRP-16, Vicksburg, MS. 7-13 pp.
- SHAFER, D., HERCZEG, B., MOULTON, D., SIPOCZ A., JAYNES, K., ROZAS L., ONUF C. and MILLER, W. (2002). "Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetland Functions of Northwest Gulf of Mexico Tidal Fringe Wetlands," U.S. Army Engineer Research and Development Center, Technical Report WRP-16, Vicksburg, MS. 4-7 pp.
- SMITH, P. y ROMERO, H. (2009). Efectos del crecimiento del Area Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43: 81-93.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1994). *National Food Security Act Manual. Title 180.USDA Soil Conservation Service, Washington, D.C. *Spartina densiflora* (dense-flowered cordgrass) (2001).San Francisco Estuary Invasive Spartina Project (ISP), California State Coastal Conservancy.*
- STEERS, J.A. (1977). *Physiography. In Wet Coastal Ecosystems* (ed. V.J.

- Chapman), *Ecosystems of the World*, No. 1, Elsevier, Amsterdam, 31-60 pp.
- STEVENSON, J., KEARNY, M. and PENDELTON, E. (1985): Sedimentation and erosion in a Chesapeake Bay brackish marsh system. *Marine Geology*, 67: 213-235.
- STUARDO, J., VALDOVINOS, C., FIGUEROA, R. y OCHIPINTI, A. (1993). Los ambientes costeros del Golfo de Arauco y área adyacente. Serie Monografías Científicas, Centro EULA (Chile), 31-43 pp.
- STUARDO, J. y VALDOVINOS, C. (1989). Estuarios y lagunas costeras: ecosistemas importantes del Chile Central. *Ambiente y Desarrollo* 5: 107-115.
- TINER, R. (1985). *Wetlands of Delaware*, U.S. Fish and Wildlife Service, National Wetlands Inventory, Newton Corner, MA an Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control, Wetlands Section, Dover, DE. Cooperative Publication, 77 pp.
- TINER, R. (1991). "The concept of hydrophyte for wetland identification". *BioScience* 41: 236-247.
- TINER, R. (1999). *Wetlands Indicators: A guide to Wetland identification, delineation, classification, and mapping*, Crc Press LLC, 1999: 187-191 pp.
- VALENZUELA, J. y SCHLATTER, R. (2004). Las turberas de la isla de Chiloé (Xa Región, Chile): aspectos sobre sus usos y estado de conservación, Capítulo 7 Los turbales de la Patagonia y la conservación de su biodiversidad.
- VALDOVINOS, C. (1993). Caracterización Ambiental del Estuario lenga, VIII Región, Chile. Planificación y Gestión de la Zona Costera. Análisis de un caso: Lenga Concepción: EULA-Universidad de Concepción.
- VALDOVINOS, C. (2006). Humedales dulceacuícolas y biodiversidad. En: Atlas social y ambiental del área metropolitana de Concepción. Región del Bío-Bío, Chile. Editores: J. Rojas, G. Azócar, M.D. Muñoz, C. Vega, A. Kindler & S. Kabisch, pp. 104-124. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 104-122 pp.
- VILLAGRAN-MELLA, R., AGUAYO, M., PARRA, L. y GONZÁLEZ, A. 2006. Relación entre características del hábitat y estructura del ensamble de insectos en humedales palustres urbanos del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 79(2): 95-211 doi: 10.4067/S0716-078X2006000200006
- VIÑALS, M. (1999). La variabilidad de las cubetas de los humedales mediterráneos: Formas y procesos geomórficos. *Humedales Mediterráneos*, 1: 91 - 98.
- VILLAGRÁN, C. (2002). Flora y vegetación del Parque Nacional Chiloé: guía de excursión Botánica por la cordillera de Piuché. Ed. Carolina Villagrán Moraga., 50 pp.
- VOLPEDO, A., BIANCONI, A. y FERNÁNDEZ, A. (2007). "Las funciones de humedales costeros de la misma latitud (26°-36°): Tres casos de estudio". CYTED, Programa Internacional de Interculturalidad, "Gestión Sostenible de Humedales, Chile", 305-306 pp.