



Sociedad Hoy

ISSN: 0717-3512

revsociedadhoy@udec.cl

Universidad de Concepción

Chile

Valdovinos, Claudio; Muñoz, María Dolores; Sandoval, Natalia; Vásquez, Daniela; Olmos, Viviana
Desastres naturales y biodiversidad: El caso del humedal costero Tubul-Raqui

Sociedad Hoy, núm. 19, 2010, pp. 33-51

Universidad de Concepción

Concepción, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90223044004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Desastres naturales y biodiversidad: El caso del humedal costero Tubul-Raqui

Natural disasters and biodiversity: The case of Tubul-Raqui coastal wetland

CLAUDIO VALDOVINOS¹
MARÍA DOLORES MUÑOZ²
NATALIA SANDOVAL³
DANIELA VÁSQUEZ⁴
VIVIANA OLMOS⁵

Resumen

Los humedales costeros son reconocidos a nivel mundial como ecosistemas de particular interés para la conservación de la biodiversidad; además proporcionan múltiples servicios ecosistémicos para nuestra sociedad, entre los que se destacan la producción de recursos bentónicos de importancia comercial, especialmente algas y moluscos. En la región del Biobío, estos ecosistemas están representados principalmente por los humedales Tubul-Raqui, Rocuant-Andalién, Lengua y Carampangue, los cuales albergan a una diversa avifauna, incluyendo a un significativo conjunto de aves migratorias estacionales. El ecosistema costero más importante de la región del Biobío por su elevada biodiversidad y los servicios ecosistemas que ofrece, es el humedal Tubul y Raqui (37°13'S - 73°26'O), que ocupa una extensión de 2.238 ha. Este humedal fue severamente afectado por el terremoto ocurrido el 27 de febrero del 2010, porque gran parte del humedal tuvo un alzamiento vertical de aproximadamente 1,6 m sobre el nivel medio del mar, lo que ha significado fuertes modificaciones en el componente acuático del humedal, especialmente en la zona de pantanos intermareales que quedaron parcialmente desecados. El objetivo del presente artículo es presentar como caso de estudio del efecto de los desastres naturales en ecosistemas costeros tomando como referencia la situación ocurrida en este importante humedal de las costas de Chile central.

Palabras clave: Desastres naturales, biodiversidad, humedales, Chile, terremoto.

¹ Biólogo, Unidad de Sistemas Acuáticos. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. E-mail: cvaldovi@udec.cl

² Arquitecta, Unidad de Planificación Territorial. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: marmunoz@udec.cl

³ Bióloga, Unidad de Sistemas Acuáticos. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: nataliasandoval@udec.cl

⁴ Geógrafa, Unidad de Sistemas Acuáticos. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: danielavsq@udec.cl

⁵ Bióloga, Unidad de Sistemas Acuáticos. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: volmos@udec.cl

Abstract

Coastal wetlands are recognized worldwide as ecosystems of particular interest for the conservation of biodiversity. They also provide multiple ecosystem services for our society, among which the production of commercially important benthic resources, especially algae and mollusks. In the region of Biobío, these ecosystems are mainly wetlands represented by Tubul-Raqui, Rocuant-Andalién, Lenga and Carampangue, which are home to a diverse avifauna, including an important set of seasonal migratory birds. The most important ecosystem on these shores for its high biodiversity and ecosystem services is the Tubul-Raqui Tubul wetland (37° 13'S - 73° 26'O). This wetland is considered the most important at the region (2238 ha). The Tubul-raqui wetland was severely affected by the earthquake on February 27, 2010. This had the effect that much of the wetland has a vertical lift of approximately 1.6 m above mean sea level, which has led to strong changes in the aquatic component, especially in the intertidal marsh area were partially dried. The aim of this paper is to present as a case study of the effect of natural disasters in coastal ecosystems, the situation that occurred in this important coastal wetland in central Chile.

Keywords: Natural disasters, biodiversity, wetlands, Chile, earthquake.

Recibido: 15.09.11. Aceptado: 20.10.11.

Introducción

Los humedales costeros son reconocidos a nivel mundial como ecosistemas de particular interés para la conservación de la biodiversidad (Valiela *et al.*, 2009). Además proporcionan múltiples servicios ecosistémicos a la sociedad, entre los que destacan la producción de recursos bentónicos de importancia comercial, especialmente algas y moluscos (Valdovinos, 2004). A lo largo de la costa chilena, desde las regiones áridas del norte hasta los fiordos patagónicos australes, se distribuyen, a modo de un mosaico, numerosos tipos de humedales estuarinos. Cada uno posee determinadas características ecológicas y ambientales, según su latitud, geomorfología costera, regímenes de marea, aportes de agua dulce, historia geológica reciente y grado de intervención humana (Valdovinos, 2004). En las costas de la región del Biobío, localizada en el centro-sur de Chile, existe una serie de humedales marinos y costeros (ver Stuardo & Valdovinos, 1989), los cuales, según el sistema de clasificación de la Secretaría de la Convención Ramsar (2006), corresponden a las tipologías de “estuarios”⁶ y “pantanos y esteros intermareales”⁷. Esta última tipología incluye a ecosistemas considerados dentro de los más escasos y relevantes de las costas chilenas, especialmente por albergar numerosas especies singulares, muchas de las cuales presentan problemas de conservación. Estos ecosistemas con características estuarinas dependen de un delicado equilibrio entre los sistemas terrestres,

⁶ Tipo F, que incluye aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas.

⁷ Tipo H, que incluye a marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas halófilas, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea.

dulceacuícolas y marinos costeros, y por localizarse en el borde costero, son afectados en distintos grados por los ciclos mareales que permiten el ingreso de las aguas marinas al área continental (Valdovinos, 2004).

En la región del Biobío estos ecosistemas están representados principalmente por los humedales Tubul-Raqui, Rocuant-Andalién, Lenga y Carampangue, los cuales albergan una diversa avifauna, incluyendo un significativo conjunto de aves migratorias estacionales y extensas praderas o “espartales” de la planta halófito *Spartina densiflora* Brongn 1829. Esta especie es de importancia fundamental en estos ecosistemas, al actuar como “especie ingeniera” que modela y estabiliza las riberas del efecto de las mareas y, al corresponder a la principal fuente energética del humedal, aporta grandes cantidades de detritus orgánico que ingresa a las cadenas tróficas acuáticas y terrestres. El ecosistema más importante de estas costas, por su elevada biodiversidad y servicios ecosistémicos que ofrece a la sociedad, es el humedal Tubul y Raqui, que está asociado a la cuenca costera del sistema hidrográfico formado por los ríos Tubul y Raqui, localizado en el extremo sur del Golfo de Arauco (37°13'S - 73°26'O), a 17 km al sur de la ciudad de Arauco (Valdovinos, 2011). Este humedal se considera el más importante de la región por su gran extensión, que alcanza aproximadamente 2.238 ha, albergando una importante biodiversidad.

El humedal de Tubul-Raqui fue severamente afectado por el terremoto ocurrido el 27 de febrero del 2010 porque gran parte del humedal tuvo un alzamiento vertical de aproximadamente 1,6 m sobre el nivel medio del mar, lo que generó fuertes modificaciones en el componente acuático del humedal, especialmente en la zona de pantanos intermareales que quedaron parcialmente desecados. El objetivo del presente artículo es presentar como caso de estudio del efecto de los desastres naturales en ecosistemas costeros, la situación ocurrida en este importante humedal de las costas de Chile central.

Estructura del paisaje costero

El paisaje del humedal está determinado por la confluencia de las desembocaduras de los ríos Tubul y Raqui; es típicamente un estuario intermareal de tipo marisma, con un marcado gradiente de salinidad como consecuencia de la transición entre las aguas continentales y marinas costeras (Long & Mason, 1983). Por las condiciones de salinidad, el humedal ha sido esencial para el sustento de la población local concentrada principalmente en la caleta Tubul, a través del cultivo y extracción del alga *Gracilaria spp.*, que hasta el terremoto de febrero del 2010 se desarrolló intensivamente en el estuario.

Según Vásquez (2009), el sistema hídrico 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. Esta unidad posee una alta tasa

de forestación y exhibe tres niveles de plataformas de abrasión marina: superior (>100 m), media (50-100 m) e inferior (<50 m), las que han sido intensamente erosionadas, permitiendo el desarrollo de una gran llanura donde se alojan los ríos Tubul y Raqui. Ambos ríos son de régimen pluvial, determinado por un dominio morfoclimático templado costero húmedo. La llanura fluvial se caracteriza por su origen local y poseer un fondo plano, débiles pendientes y abierta hacia el noroeste, lo que favorece el desarrollo de la extensa marisma litoral que recibe aportes de aguas marinas costeras, a través del flujo de mareas que penetra hacia el continente a través del sistema fluvial, que, por tales características, desarrolla en su desembocadura aguas con condiciones mixohalinas de elevada productividad biológica. En el borde externo de la costa, situado al norte del humedal, existe una estrecha llanura paralela a la costa, que tiene un cordón litoral y pequeños humedales dulceacuícolas en la parte interna.

En cuanto al clima y a la geomorfología de la cuenca, Vásquez (2009) indica que el humedal se ubica en una zona climática de transición entre un clima templado mediterráneo cálido y un clima templado húmedo o lluvioso, que se desarrolla inmediatamente al sur del río Biobío. Según Constabel (1993), en esta zona existen desde dos a cinco meses fríos y húmedos, en los cuales se concentra aproximadamente el 75% de las precipitaciones, las cuales alcanzan los 1.300 mm anuales entre otoño y primavera.

Como señala Vásquez (2009), desde un punto de vista geomorfológico, el humedal Tubul-Raqui se desarrolla sobre una extensa llanura de sedimentación fluvio-marina del borde costero de la provincia de Arauco, área que en los últimos 50 años ha sido severamente afectada por movimientos de solevantamiento y hundimiento tectónico. 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 débiles pendientes, cuya planicie baja sólo es interrumpida por la presencia de una pequeña terraza marina de nivel inferior (<50 m), que ayuda a dividir a los sistemas hidrográficos que únicamente se interconectan en la desembocadura luego de rodear la pequeña terraza. Gran parte del humedal descansa sobre cuaternario reciente, en depósitos de arenas negras, y sedimentos fluviales y de playa. Bordeando a esta amplia llanura, existen tres niveles de terrazas de abrasión marina, las cuales han sido principalmente modeladas por la interacción de la actividad tectónica y el clima.

Con respecto a la red hídrica e hidrología del humedal, la cuenca en su totalidad presenta una superficie total de 274 km², con un perímetro de 81 km. La subcuenca del río Tubul ocupa el 37,5% de la superficie total de la cuenca, y la del río Raqui el 64,3%. Alveal (1988), quien estudió la distribución de *Gracilaria spp.* en el estuario, determinó que el río Tubul tenía en el momento de su estudio un curso aproximado de 17 a 19 km de largo, con influencia de la pleamar sobre los

primeros 6 km, desde la desembocadura hacia arriba. Por su parte, el río Raqui tiene una longitud aproximada de 15 km y es más somero que el Tubul, presentando profundidades máximas que alcanzaban los 2 m y escurrimientos de agua durante todo el año. El gran estuario conformado por la unión de ambos ríos en su desembocadura, denominado estuario Tubul-Raqui, corresponde al régimen micromarreal, con aportes estacionales de agua dulce. Desde un punto de vista hidrológico, el sistema estuarino que domina gran parte de la marisma recibe sus principales aportes de agua dulce a través del río Raqui, aun en la estación de verano, mientras que en el río Tubul se constata una mayor influencia marina, descrita por Stuardo *et al.* (1992). Como se discutirá más adelante, esta situación ha sido fuertemente perturbada luego del terremoto de febrero del 2010, que produjo grandes cambios en la interacción entre las aguas continentales y marinas, producto de la elevación del fondo.

Según el estudio agrológico de la VIII Región realizado por CIREN-CORFO (1999; *fide* Vásquez 2009), la mayor superficie de la zona estudiada se encuentra ocupada por suelos pertenecientes a la clase VII, es decir, a aquellos suelos con limitaciones muy severas, lo que los hace inadecuados para los cultivos, no así para los usos forestal y de pastoreo. Gran parte de la superficie ocupada por este tipo de suelos se encuentra muy degradada o erosionada. Según Mardones (1971), ello se debe fundamentalmente a las malas prácticas agrícolas y de pastoreo intensivas de fines de siglo pasado y mitad de éste, y a la plantación de especies exóticas para la actividad forestal, reemplazando más del 80% de la vegetación nativa original. Debido ello, aproximadamente un 54% de los suelos se encuentra en un avanzado estado de erosión, a pesar de no presentar sectores de fuertes pendientes, salvo en las quebradas de los ríos. Gran parte de la vegetación boscosa nativa ha sido reemplazada por plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, pudiéndose encontrar actualmente relegada a pequeños parches de vegetación nativa entremezclados con las plantaciones forestales y/o en el interior de las quebradas.

Con respecto al ambiente de humedal costero propiamente tal, éste se compone por una gran marisma dispuesta en la llanura litoral de sedimentación fluvio-marina con sedimentos del cuaternario. Las marismas son pantanos salinos, que sufren dos inundaciones diarias con aguas costeras producto de los ciclos mareales. El anegamiento crea condiciones anaeróbicas en los sedimentos, y la salinidad sequía fisiológica, lo que genera condiciones ecológicas extremas (San Martín *et al.*, 1992). En estas zonas sólo sobreviven especies adaptadas a la salinidad, encontrándose principalmente la asociación denominada *Sarcocornio - Spartinentum densiflorae* (según San Martín *et al.*, 1992), que incluye a las especies *Spartina densiflora* y *Sarcocornia fruticosa*, la primera mucho más abundante que la segunda (Stuardo *et al.*, 1992).

La vegetación de las marismas de Tubul y Raqui está constituida por comunidades emergidas, no arbóreas, de plantas vasculares con raíces, que ocupan territorios donde la salinidad, derivada de la influencia marina costera, generalmente excede

1-4 UPS, y donde se dan empozamientos periódicos generados por las mareas, al menos una vez al año durante las mareas equinocciales. En las marismas dominan las especies perennes y casi todas halófitas, aunque también existen otras de amplia distribución, que no presentan este carácter (Adam, 1990). El escaso número de especies capaces de tolerar la elevada salinidad de estos ecosistemas determina una vegetación poco diversa (Chapman, 1974; Adam, 1990; Jiménez, 1996). En el humedal Tubul-Raqui domina *S. densiflora*, una gramínea tolerante a la sal, aunque también es posible encontrar en algunos sectores la halófito suculenta *Sarcocornia fruticosa*, observándose en muchos casos una combinación de ambas especies, dando lugar a complejos mosaicos de vegetación. La especie *Spartina densiflora*, por su amplia cobertura, densidad y biomasa, es una fundamental en la estructuración del humedal Tubul-Raqui (Figueroa & Valdovinos, 1997). Los “espartales” del humedal Tubul-Raqui son claves para la conservación del ecosistema por tratarse de una especie ingeniera que modela fuertemente la estructura de los hábitats acuáticos. Afortunadamente es una especie tolerante a fuertes cambios ambientales, y se espera que no haya sido seriamente afectada por el terremoto del 27 de febrero. Una situación diferente hubiese ocurrido en el caso que esta especie haya sido afectada, provocando una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en el humedal.

Biodiversidad

En el humedal Tubul-Raqui se manifiestan fuertes gradientes ambientales y una importante diversidad de hábitats acuáticos y ribereños. Por ello, el humedal es uno de los principales sitios de nidificación y refugio para numerosas especies de aves, residentes y migratorias, de la región del Biobío, entre las que destacan 31 familias y 83 especies de aves (Carrasco-Lagos, 2003, 2004; Vergara *et al.*, 2008 y Carrasco-Lagos & Jiménez, 2009). Las especies más diversas en el humedal son Anatidae (8 spp.), Laridae (7 spp.), Furnariidae (7 spp.), Tyrannidae (7 spp.), Ardeidae (6 spp.) y Scolopacidae (4 spp.). La especie más abundante es el “Pato jergón grande” (*Anas georgica*), y dentro de las aves migratorias destacan el “Rayador” (*Rynchops riger*), el “Zarapito” (*Numenius phaeopus*) y el “Zarapito de pico recto” (*Limosa haemastica*). Desde un punto del estado de conservación de las especies del humedal, el reglamento de la Ley de Caza del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2009) establece dentro de la categoría “en peligro” a las especies “Cisne de cuello negro” (*Cygnus melancorypha*) y “cisne coscoroba” (*Coscoroba coscoroba*), mientras que la “bandurria” (*Theristicus melanopis*) se califica como “Vulnerable”. Por otra parte, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)⁸, las especies “Gaviotín elegante” (*Sterna elegans*), “Lile” (*Phalacrocorax gaimardi*), “pelicano”

⁸ <http://www.iucnredlist.org/>

(*Pelecanus thagus*) y “Pato anteojillo” (*Anas specularis*) califican en la categoría de “amenaza cercana”, es decir, podrían pasar pronto a la categoría de “Vulnerables”. A dos meses del terremoto de febrero del 2010, se observó además al “Flamenco chileno” (*Phoenicopterus chilensis*). Según SAG (2009), especie catalogada como especie “Rara”.

Los invertebrados bentónicos del área estuarina son menos diversos que los existentes en los sistemas dulceacuícola localizados en la zona alta de la cuenca. Sin embargo, sus abundancias, biomásas, ya sea por unidad de superficie o en la totalidad del ecosistema, son claramente superiores. Dentro de las especies sedentarias del estuario, básicamente se distinguen aquellas que habitan en fondos duros ribereños y otras que lo hacen en los fondos blandos.

Antes del terremoto, los fondos duros dominantes fundamentalmente eran los hábitats radiculares ribereños; corresponden a la red de raíces de *Spartina densiflora* localizados en los límites del espartal y que antes del terremoto eran afectados por los cambios de marea. Con posterioridad al sismo, estos hábitats quedaron completamente desecados debido al severo levantamiento del humedal, lo que significó la pérdida total de su fauna acuática y su reemplazo por invertebrados terrestres (Valdovinos & Sandoval, 2011). Previo al terremoto, las especies dominantes en estos hábitats fueron el Bryozoa incrustante estuarino *Conopeum sp.*, el Amphipoda *Paracorophium hartmannorum* y poliquetos, especialmente *Prionospio (Minuspio) patagonica*. Estos hábitats también eran ocupados como zonas de refugio y alimentación, por estados juveniles del crustáceo Decapoda *Hemigrapsus crenulatus*, que los abandonaban luego de alcanzar tallas de 20 mm de longitud cefalotorácica. Posteriormente se desplazaban para ocupar los hábitats de fondos blandos del humedal. Otro componente relevante del bentos de fondos duros correspondió al Cirripedia *Elminius kingii*, también severamente afectado por la desecación del humedal. Esta especie filtradora se habitaba preferentemente substratos leñosos y rocosos presentes en la zona intermareal del humedal.

Previo al terremoto, los fondos blandos intermareales y submareales del humedal fueron ocupados por grandes densidades de poliquetos de las familias Spionidae y Nereidae, los cuales alcanzaban elevadas biomásas, especialmente dominada por *P. (M.) patagonica* y *Perinereis gualpensis*. En estos ambientes también se localizaban grandes bancos del bivalvo *Tagelus dombeyi*, explotados en el área con fines comerciales. Estos fondos también eran ocupados por los estados adultos del crustáceo *H. crenulatus*, alcanzando elevadas densidades, y en algunos sectores era posible encontrar el pequeño bivalvo estuarino *Kingiella chilénica*. Como se discutirá más adelante, las poblaciones de poliquetos y de *H. crenulatus* se redujeron significativamente luego del terremoto, debido a la desecación de gran parte de los fondos. Por otra parte, los bancos de *T. dombeyi* y de *K. chilénica* desaparecieron totalmente del humedal.

Poco se sabe de los peces de la zona estuarina del humedal. Observaciones ge-

nerales realizadas en el área por nuestro grupo de investigación antes del terremoto del 2010, constató la presencia de especies estuarinas y marinas, tales como “Robalo” (*Elegonops maclovinus*), “Lisa” (*Mugil cephalus*), “Puye” (*Galaxias maculatus*) y “Cauque” (*Odontesthes mauleanum*).

Asentamientos humanos y actividades productivas asociadas al humedal

El terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010 dejaron en evidencia la vulnerabilidad de la zona costera ante catástrofes naturales; esta situación es preocupante porque en el litoral se concentran ciudades, industrias y puertos. Las diversas estructuras geográficas –bahías, golfos, estuarios, islas y penínsulas–, además de su importancia ambiental, son la base de asentamientos característicos del litoral como las caletas pesqueras, cuyo origen se relaciona con las comunidades lafquenche que se dedicaban a la pesca desde hace más de 4000 años. Las caletas pesqueras son valiosos ejemplos de asentamientos integrados a los sistemas naturales y a las condiciones ambientales específicas que constituyen la base productiva y de habitabilidad; por lo tanto, cualquier modificación del territorio afecta sus modos de vida y su particular forma de arraigo.

El 90% de las caletas pesqueras se localiza en zonas rurales; por ello no se incorporan a los instrumentos de planificación territorial que esencialmente regulan áreas urbanas. Esta situación se expresa en crecimientos aleatorios y dependientes de la variación de las condiciones económicas relacionadas con la pesca artesanal, lo que dificulta la protección del paisaje y los ecosistemas asociados a las caletas. Según Vásquez (2009), el área del humedal está habitada únicamente por población rural (2500 habitantes aproximadamente), concentrados mayoritariamente en la caleta Tubul. Los datos previos al terremoto indican que el nivel de pobreza de la caleta es de un 56%. La segunda localidad rural en importancia poblacional es la caleta Las Peñas, ubicada en la ribera del río Raqui, con un total de 261 habitantes (ficha CASEN, comuna de Arauco). El resto de la presencia humana colindante al humedal corresponde a pequeños asentamientos dispersos, incluyendo a las pequeñas localidades de Raqui y Raqui alto.

La población asociada al humedal se dedica en su mayor parte a la actividad agrícola y crianza de aves de corral, bovinos y porcinos, desarrollada en las praderas y/o llanuras anegadizas. Son actividades de pequeña escala, para el consumo familiar con un pequeño excedente para la comercialización, destacándose en el último tiempo la producción de quesos artesanales. La agricultura ha recibido estímulos por parte del Estado, mediante el fomento a la inversión privada en riego y drenaje. La actividad ganadera es incipiente, ya que en general el área no posee condiciones pedológicas favorables al desarrollo de praderas naturales o artificiales, condición vital de toda economía ganadera.

Una actividad productiva relevante realizada por la población de la caleta Tubul, pero asociada al ecosistema marino costero propiamente tal, es la actividad pesquera artesanal. En Tubul, el principal recurso extraído es el “huepo” o “navaja” (*Ensis macha*) y la “navajuela” (*Tagelus dombeii*), además de otros moluscos y bivalvos. Estos productos son vendidos a particulares que los exportan principalmente a EE.UU., Japón y España. Otra actividad relevante es la forestal, debido a la presencia extensas plantaciones de especies exóticas tales como *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*, que han sustituido a la vegetación nativa original. Las terrazas de erosión marina colindantes al humedal Tubul-Raqui han sido colonizadas paulatinamente desde principios de la década de los '90 por plantaciones forestales, debido a la predominancia de suelos IV y VII, cuya capacidad de uso permiten el desarrollo de este tipo de actividad.

Hasta febrero del 2010, la principal actividad económica al interior del humedal fue el cultivo intensivo del alga conocida como “pelillo” (*Gracilaria spp.*), ejercida únicamente por habitantes de la zona, agrupando aproximadamente un total de 500 personas. Sin embargo, debido al severo levantamiento del humedal causado por el terremoto, gran parte de los canales donde se realizaban los cultivos se desecaron, lo que actualmente impide el desarrollo de esta actividad productiva. La extracción de pelillo ha sido regulada por la Subsecretaría de Marina del Ministerio de Defensa a través de una concesión marítima de 320 hectáreas. La producción de “pelillo” cosechada previamente al terremoto alcanzaba a unas 2.000 toneladas de algas húmedas, que eran exportadas principalmente a Japón.

La ganadería también se desarrolla dentro de la cuenca, a través de la crianza de vacunos para la producción de carne, leche y principalmente quesos. Dado que la vegetación dominante existente en el humedal se caracteriza por ser de pastos gruesos y salinos, la ganadería se limita principalmente a los sectores llanos localizados entre los sectores montañosos y el “espartal”. La actividad agrícola es incipiente dentro de la cuenca y está destinada principalmente al autoconsumo.

Caso de estudio de efectos de desastres naturales en humedales costeros: Perturbaciones causadas por el terremoto del 2010 en el humedal Tubul-Raqui

Con el objeto de analizar los cambios ecosistémicos derivados del terremoto, es necesario hacer un análisis comparativo entre la situación previa al terremoto de febrero del 2010 y la existente actualmente. Esta revisión se basa fundamentalmente en la comparación de las 10 estaciones de muestreo estudiadas previamente al terremoto por Stuardo *et al.* (1992), en los años 1990-1992, y por Valdovinos & Sandoval (2011), en diciembre 2008 y agosto 2009. Estos mismos autores repitieron las mismas estaciones con posterioridad al sismo, en abril, agosto y diciembre del 2010. Los resultados obtenidos en el estudio de Valdovinos & Sandoval (2011)

en cuanto a la estructura del hábitat físico, calidad de agua y biota acuática del humedal, a partir del terremoto del 27 de febrero del 2010, muestra que el sismo ha generado una serie de cambios ambientales. Algunos ocurrieron inmediatamente durante el terremoto, y otros todavía se están manifestando. Aquellos generados durante estos eventos propiamente tales, han sido inferidos a partir de evidencias indirectas obtenidas a los 40 días post-terremoto. Por otra parte, los cambios observados a los 40 días, 6 y 10 meses corresponden a observaciones y mediciones directas realizadas en terreno. A continuación se presenta una breve discusión los resultados obtenidos por estos autores, siguiendo la secuencia temporal de los eventos y muestreos en terreno.

Cambios ocurridos durante el terremoto: El terremoto magnitud Mw8,8 tuvo una duración aproximada de 180 segundos, período en el cual ocurrió el levantamiento del humedal en *ca.* 1,6 m sobre el nivel medio del mar. Farías *et al.* (2010) han descrito en detalle los cambios ocurridos a lo largo de la costa de Chile central. Este levantamiento no habría sido homogéneo en toda el área del humedal, ya que algunas zonas habrían experimentado un alzamiento cercano a los dos metros. Durante el terremoto ocurrió el agrietamiento de muchos sectores del “espartal”, las cuales en algunas zonas del río Raquí tuvieron una profundidad de 1,5 m y un ancho 0,3 m.

Cambios ocurridos en las primeras 10 horas del terremoto: Dada la magnitud del alzamiento del humedal sobre el nivel del mar, se puede deducir que inmediatamente luego del sismo, se generaron fuertes corrientes de agua en dirección al mar, erosionando parte de los bancos de arena de la boca. Evidencias de esta situación han quedado en las riberas de los tramos inferiores de los ríos Tubul y Raquí, en los cuales gran parte de las fracciones de arena y grava fueron transportadas río abajo, quedando bolones y grandes cantos depositados en las orillas. La caracterización de detalle de los sedimentos y sus procesos asociados habían sido descritos para el estuario por Constabel (1993).

Una vez iniciado el vaciamiento del humedal, éste fue afectado por la entrada de varias olas de tsunami, que alcanzaron en la zona costera una altura máxima de 12 m. El tsunami no sólo significó la entrada de agua marina costera, sino también de grandes cantidades de arena que se depositaron sobre el “espartal” y en la red de canales interiores del humedal. Dada la orientación predominantemente N-S del tsunami y la configuración de la línea de costa (ver Ferraris, 1981), la zona más afectada del humedal fue la del sector del río Tubul, por donde el tsunami ingresó por *ca.* 3 km.

En relación a la biota acuática lo más conspicuo fue la destrucción de la totalidad de las plantaciones del alga “Pelillo” (*Gracilaria sp.*) y una alta mortalidad del crustáceo estuarino *Hemigrapsus crenulatus*, por arrastre de estos organismos bentónicos hacia el sistema terrestre y su posterior desecación. Este cangrejo es una

de las especies epifaunísticas más abundantes en ecosistemas estuarinos chilenos (Grandjean, 1985), habitando además en sistemas similares de Nueva Zelanda (Retamal, 1981).

En relación al “Pelillo”, la pérdida de estas plantaciones fue total, con importantes consecuencias sociales y económicas para los pobladores del área. La importancia para las comunidades locales de este recurso, ha sido discutida por Alveal (1988), Werlinger & Alveal (1988) y recientemente por EULA (2008).

Cambios registrados a 40 días del terremoto: A principios de abril del 2010, prácticamente no se observó el escurrimiento de agua desde el humedal hacia el mar. La zona de la desembocadura estaba embancada por una amplia barra de arena, que no podía ser cruzada por embarcaciones artesanales de escaso calado. Se pudo constatar la desecación parcial del 100% de los canales interiores que irrigan el humedal, conservándose sólo pozas aisladas de aguas estancadas o con limitados escurrimientos hacia los cauces principales. Con respecto a estos últimos, se observó la desecación de hasta un 85% de los fondos de los canales principales de los ríos Tubul, Raqui y del estero Las Peñas.

Debido a que a los 40 días del terremoto se mantuvo la pérdida total del régimen de mareas en el interior del humedal y el intercambio con las aguas marinas costeras, se registró una disminución de la salinidad, especialmente en el sector del río Raqui.

Con respecto a los fondos blandos, se registró la mortalidad total de los bancos de bivalvos. La especie más afectada dada su elevada abundancia y biomasa en el área, fue la “navajuela” (*Tagelus dombeii*), de las cuales aún se observan en los sedimentos miles de conchas vacías en posición de vida, indicando una rápida muerte en los fondos emergidos. Esta es una especie de importancia comercial presente en las planicies intermareales del sur de Chile (Clasing *et al.*, 1994, Jaramillo *et al.*, 2007). Según las mediciones de Navarro *et al.* (2008), se trata principalmente un organismo con alimentación por suspensión, por lo que su ausencia tendría fuertes implicancias en las características de la comunidad fitoplanctónica del humedal.

Con respecto a los substratos duros presentes en el humedal, tales como pilares de puentes y embarcaderos, ya sean de madera, concreto o metal, así como enrocados artificiales, en todos ellos se reportó la mortalidad total del crustáceo estuarino *Elminius kingii*. Estos organismos acuáticos viven normalmente hasta el límite superior de la zona intermareal. Dado el severo alzamiento de la costa, todas las bandas intermareales que conformaban estos organismos quedaron expuestas a la desecación.

Otro organismo que desapareció del área fue el pequeño bivalvo estuarino de fondos blandos someros *Kingiella chilénica* Soot-Ryen 1957, el cual había sido reportado previo al terremoto en las estaciones de los ríos Tubul y Raqui, siempre en muy bajas densidades. Este es un bivalvo endémico, que habita en fondos blandos de marismas de estuarios del sur de Chile (Gallardo *et al.*, 2006). Con respecto al

sistema terrestre del humedal, es importante señalar que a los 40 días del terremoto, a que a pesar que todo el “espartal” se elevó significativamente sobre el nivel medio del mar, ellos no mostraron evidencias haber sido afectadas.

Cambios registrados a seis meses del terremoto: En los muestreos llevados por Valdovinos & Sandoval (2011) a los seis meses del terremoto, se constató que se mantuvieron las condiciones de hábitat registradas previamente a 40 días del sismo, en cuanto a desecación de los canales interiores, de los hábitats acuáticos radiculares y la ausencia de intercambio con las aguas costeras. Sin embargo, se observó un leve incremento del nivel de espejo de agua, producto de una mayor cantidad de agua dulce procedente de la cuenca de drenaje derivadas de las lluvias invernales. A diferencia del muestreo de abril realizado en estiaje, y al igual que lo reportado en años anteriores para el período invernal, en el muestreo de agosto la totalidad del humedal presentó condiciones dulceacuícolas, en cuanto a salinidad y a otros parámetros de calidad de agua.

En relación a la biota acuática, a los seis meses de ocurrido el terremoto se mantuvo la defaunación de las áreas desecadas. Un aspecto muy significativo en el ecosistema, por su relevancia en la dieta de aves acuáticas, fue una parcial recolonización de anfípodos y poliquetos en las zonas de los canales principales no desecados, a pesar de haber agua dulce en el momento del muestreo. No se registró ningún grado de recolonización por parte de *T. dombei*, *E. kingii* y *H. crenulatus*, que habían previamente desaparecido del área. Dentro de las especies que mostraron recolonización fue el poliqueto estuarino *Perinereis gualpensis*, el cual en términos de abundancia y biomasa corresponde a una de las especies de poliquetos más importantes de estuarios del centro y sur de Chile (Bertrán, 1989; Díaz-Jaramillo, 2010). Una situación similar ocurrió con el anfípodo *Paracorophium hartmannorum*, componente importante en las cadenas tróficas estuarinas, especialmente por ser organismos detritívoros que son consumidos por peces estuarinos como el “Róbalo” (*Eleginops maclovinus* (Cuvier, 1830) (Pequeño *et al.*, 2000; Jaramillo *et al.*, 2001; Bertrán *et al.*, 2006).

A los seis meses del terremoto, el “espartal” tampoco mostró evidencias de haber sido afectado. Sin embargo, en muchas zonas se pudo constatar la recolonización de las zonas anegadas por las lluvias invernales, por el “Camarón de vega” (*Parastacus pugnax*), que es típicamente dulceacuícola.

Cambios registrados a 10 meses del terremoto: A los 10 meses de ocurrido el terremoto, algunos indicadores prácticamente no mostraron señales de recuperación, otros se van sucediendo hacia una nueva condición. En el último muestreo se constató que se mantuvieron las condiciones de hábitat tales como la desecación de los canales interiores y de los hábitats radiculares. Sin embargo, en los canales interiores que irrigan el humedal, donde se conservaban pozas aisladas de aguas estancadas, en diciembre prácticamente se desecaron en su totalidad.

Otras variables del hábitat mostraron claras evidencias de un leve retorno a la condición previa al terremoto. Por ejemplo, se observó un incremento del nivel de espejo de agua en *ca.* 0,3 m, y por lo tanto un aumento del área de los fondos inundados y de la disponibilidad de hábitats para los organismos bentónicos. Además, se registró un incremento del intercambio con las aguas del mar, expresado en leves fluctuaciones de los niveles de marea y salinidad, que fueron más evidentes en el río Tubul que en el río Raqui. Asociado a lo anterior, hubo un incremento de la profundidad en la boca de estuario, situación que facilitó la navegación y el intercambio entre las aguas estuarinas y marinas costeras. El incremento en la profundidad también estaría asociado a la extracción de arena con maquinaria pesada en esta zona, para permitir el desplazamiento de las embarcaciones. No se registró una recolonización de *T. dombei*, *E. kingii* y pero sí del cangrejo *H. crenulatus*, lo que es indicativo de una tendencia a la recuperación del estuario. Dada la existencia de aguas salobres en el estuario en el último muestreo, a diferencia de lo observado en el muestreo de agosto, no se registró la presencia de peces dulceacuícolas en la parte media y baja del humedal.

Con respecto a la vegetación terrestre, los “espartales” continuaron mostrando síntomas de un adecuado estado fisiológico, incluso se observó una masiva floración de *S. densiflora* en todo el humedal. Otro aspecto que fue registrado en el último muestreo fue la colonización de los fondos que fueron desecados, por parte de vegetación terrestre la cual cubrió en algunos sitios hasta un 60% de los fondos emergidos.

Situación existente a 18 meses del terremoto: A más de un año y medio de ocurrido el terremoto se ha mantenido la condición general de desecación del humedal, aunque muchas zonas son igualmente anegadas durante los períodos de lluvias invernales. En los sectores parcialmente inundados de las zonas estuarinas de los ríos Tubul y Raqui (hasta el sector de los dos puentes), se registró una clara influencia de las mareas, que se manifiesta con los cambios horarios de nivel y por las salinidades. En cuanto a la biota acuática, no se ha registrado ningún grado de colonización de especies de importancia comercial, como algas y moluscos. En relación a los pastizales salinos, se observó una incipiente mortalidad de *S. densiflora* ubicada en los márgenes de los canales desecados.

Implicancias del terremoto sobre la conservación de la diversidad biológica del humedal

Históricamente, dada la gran extensión de la marisma de Tubul-Raqui, la más importante del centro y sur de Chile, además de su elevada biodiversidad y productividad biológica, combinada con un escaso grado de perturbación humana, han he-

cho de este humedal uno de los más importantes de Chile en términos de conservación de la biodiversidad. A pesar que fue severamente afectado por el terremoto de febrero del 2010, mantiene propiedades que le permiten mantenerse dentro de los humedales costeros más importantes del país, porque continúa proporcionando sitios de nidificación y refugio para numerosas especies de aves, residentes y migratorias, muchas de las cuales presentan problemas de conservación o están calificadas dentro de la categoría de "Raras". Esta situación fue reconocida a nivel regional, identificando al humedal como uno de los seis sitios prioritarios establecidos en la Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad de la Región del Biobío, situación que se mantiene luego del terremoto.

Las principales amenazas antropogénicas para la conservación del humedal y sus alrededores, han sido históricamente la caza de aves, y la deforestación de las cuencas que afecta la sedimentación de los ríos que lo alimentan. En relación a lo anterior, las principales medidas adoptadas corresponden, en primer lugar, a la prohibición de caza o captura de anfibios, reptiles, aves y mamíferos silvestres, en un territorio de 7.822 ha. Esta prohibición tiene una vigencia de 30 años a partir de junio del 2006 y fue establecida mediante el Decreto Supremo N° 285 del Servicio Agrícola y Ganadero. La segunda medida de relevancia fue la destinación, con fines de conservación, de 350 ha el predio fiscal de Isla Raquí, a través del Decreto Supremo N° 454 del Ministerio de Bienes Nacionales, que pretende conservar hábitats y su biota asociada. Una tercera medida que actualmente se encuentra en proceso de ejecución, y evidentemente la más importante por su extensión y enfoque ecosistémico, corresponde a la postulación del humedal como sitio Ramsar, para integrar la red humedales de importancia internacional. La superficie total que se solicita sean declaradas como Sitio Ramsar es de 562 ha, de las cuales 350 ha son terrenos fiscales y las otras 212 ha conforman los cuerpos de agua de los ríos Tubul, Raquí y Estero Las Peñas, que corresponden al área de concesión de acuicultura que posee la Asociación Gremial de Tubul, otorgada en 1994 por la Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante, mediante Decreto Supremo N° 296. Los terrenos que circundan el área que se está solicitando incorporar a los sitios Ramsar son propiedad particular. Es evidente que la designación del humedal como sitio Ramsar sería un avance para la conservación de este humedal, considerando que el principal objetivo de estos sitios es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales, apoyadas por la cooperación internacional. Esta situación aseguraría en gran medida la recuperación de este ecosistema severamente dañado por una de las catástrofes naturales más severas que ha afectado a los ecosistemas de nuestra región en el último siglo.

Tabla 1. Cuadro resumen de los principales cambios registrados en el humedal Tubul-Raqui, que pueden asociarse al terremoto y tsunami ocurridos el 27 de febrero del 2010. Los cambios ocurridos durante el terremoto y tsunami, son inferidos a partir de evidencias indirectas obtenidas a los 40 días post-terremoto. Los cambios a observados a los 40 días, 6 meses, 10 y 18 meses, corresponden a observaciones y mediciones directas realizadas en terreno.

Tiempo	Estructura del hábitat físico	Calidad de agua	Biota acuática
180 segundos durante el terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Levantamiento del humedal en ca. 1,6 m sobre el nivel medio del mar. -Arietamiento de muchos sectores terrestres del "espartal". 	<ul style="list-style-type: none"> -Probablemente incremento de la turbidez por resuspensión de sedimentos del fondo. -Erosión de parte de algunas riberas por el incremento del oleaje dentro del humedal, incrementando la turbidez del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> -Probablemente sin efectos significativos, salvo el soterramiento de algunos macroinvertebrados por transporte de sedimentos causado por el oleaje al interior del estuario.
10 horas post-terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Probablemente fuertes corrientes en dirección al mar asociadas al levantamiento del humedal. -Entrada de olas de tsunami de hasta 12 m de altura y una carga de arena marina, que ingresó hasta ca. 3 km al interior del humedal. Dada la dirección N-S de la onda y la configuración del terreno, el sector más afectado fue el del río Tubul, que estuvo más expuesto. -Destrucción y transporte de grandes porciones del espartal por la fuerte corriente. -Pérdida total del régimen de mareas debido al levantamiento y embancamiento con arenas en la boca del humedal. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incremento de la salinidad y la turbidez del humedal por el ingreso del tsunami. -Probablemente incremento de seston orgánico, debido a la incorporación de materia orgánica particulada gruesa extraída al "espartal". 	<ul style="list-style-type: none"> -Destrucción del 100% de las plantaciones de "Pelillo" (<i>Gracilaria spp.</i>) por el arrastre causado por el tsunami. -Alta mortalidad del crustáceo estuarino <i>Hemigrapsus crenulatus</i> por arrastre hacia el sistema terrestre. -Mortalidad de algunas aves acuáticas e incremento de aves carroñeras en el área.
40 días post-terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Desecación parcial del 100% de los canales interiores que irrigan el humedal, conservándose sólo pozas aisladas de aguas estancadas. -Desecación de hasta un 85% de los fondos de los canales principales de los ríos Tubul, Raqui y estero Las Peñas. En las aguas remanentes se constató una significativa disminución de la profundidad en hasta ca. 2 m. -Formación de grietas de secamiento en gran parte de los fondos desecados. -Desecación total de todos los hábitats acuáticos radiculares de <i>Spartina</i> por quedar fuera del agua. -Se mantuvo la pérdida total del régimen de mareas y el intercambio con las aguas marinas costeras. 	<ul style="list-style-type: none"> -Marcada disminución de la salinidad, especialmente en el sector del río Raqui. -Incremento de nutrientes (amonio, nitrógeno total y fósforo total) y clorofila en el interior del humedal. -No se registraron condiciones de hipoxia o anoxia en los canales principales del estuario. -En las pozas aisladas de aguas estancadas que se mantuvieron en los canales interiores, se registró hipoxia. 	<ul style="list-style-type: none"> -100% de mortalidad total de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de <i>Spartina</i> (Bryozoa, Crustacea, Annelida). -100% de mortalidad de bancos de moluscos bivalvos, especialmente de la "navajuela" (<i>Tagelus dombeii</i>), cuyas conchas mantuvieron su posición de vida en los sedimentos emergidos. -100% de mortalidad de los cirripedios estuarinos <i>Elminius kingii</i> adheridos a substratos duros. -100% de mortalidad del cangrejo estuarino <i>Hemigrapsus crenulatus</i>. -En los canales principales de los ríos Tubul, Raqui y estero Las Peñas, en los cuales se conservó agua, se registraron comunidades bentónicas con menores abundancias y riquezas de especies que las previas al terremoto. -No se registró daño en la vegetación de los "espartales".

Tiempo	Estructura del hábitat físico	Calidad de agua	Biota acuática
6 meses post-terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las condiciones de hábitat registradas a los 40 días del terremoto, en cuanto a desecación de los canales interiores, de los hábitats radiculares y casi ausencia de intercambio de aguas con el mar. -Se observó un leve incremento del nivel de espejo de agua, producto de una mayor cantidad de agua dulce procedente de la cuenca de drenaje. -Las marcas del nivel máximo de las aguas registrado en las orillas, muestra que en el período de crecida existió una inundación atípica del humedal producto del embancamiento de la boca del humedal que dificultó el flujo de agua dulce hacia el mar. -El "espartal" manifestó un hundimiento de entre 8 y 15 cm y una leve deformación horizontal, debido a una pérdida de agua de los suelos en que se desarrolla. 	<ul style="list-style-type: none"> -La totalidad del humedal mostró condiciones dulceacuícolas, en cuanto a salinidad o otros parámetros de calidad de agua. -Se registró un incremento evidente de metales (Hierro y Manganeso), en las aguas que escurrieron de los suelos de "espartales". Estas concentraciones estuvieron fuera de rangos que pudieran significar un riesgo a la salud de las personas y al ecosistema. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las mortandades de organismos bentónicos de las áreas desecadas. -Se observó una leve recolonización de anfípodos y poliquetos en las zonas de los canales principales no desecados, a pesar de haber un 100% de agua dulce. -No se registró una recolonización de <i>T. dombei</i>, <i>E. kingii</i> y <i>H. crenulatus</i>. -Se registraron peces de agua dulce en las cercanías de la boca del estuario, situación que no había sido previamente reportada en el área. -Se registró una recolonización de los hábitats radiculares por arañas Lycosyidae. -Se observó una colonización de parte de los "espartales" anegados con agua dulce, del "Camarón de vega" (<i>Pavastacus pugnax</i>), que es típicamente dulceacuícola. -No se registró daño en la vegetación de los "espartales".
10 meses post-terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las condiciones de hábitat registradas a los 40 días y seis meses del terremoto, en cuanto a desecación de los canales interiores, de los hábitats radiculares. -En los canales interiores que irrigan el humedal, que en los muestreos anteriores conservaban algunas pozas aisladas de aguas estancadas, en diciembre casi desaparecieron en su totalidad. -Se observó un incremento del nivel de espejo de agua, producto de una aparente recuperación en ca. 0,3 m por hundimiento del humedal, y por lo tanto de un incremento de los fondos inundados. -Se registró un claro incremento del intercambio con el agua de mar, lo cual se manifestó en cambios en los efectos de marea, los que fueron más evidentes en el río Tubul que en el río Raqui. -Hubo un incremento de la profundidad en la boca de estuario que facilitó la navegación y el intercambio entre las aguas estuarinas y marinas costeras. 	<ul style="list-style-type: none"> -En los sectores que se mantuvieron inundados, se observó un claro incremento en la salinidad, profundidad y cambios de nivel e hidrodinamismo asociados a los ciclos de marea. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las mortandades de organismos bentónicos de las áreas desecadas. -Se observó una intensa recolonización de anfípodos y poliquetos en las zonas de los canales principales no desecados, con un retorno a una condición de aguas salobres. -No se registró una recolonización de <i>T. dombei</i>, <i>E. kingii</i> y pero sí del cangrejo <i>H. crenulatus</i>. -No se registraron peces de agua dulce en las cercanías de la boca del estuario. -Se estabilizó en términos de abundancia la recolonización de los hábitats radiculares por arañas Lycosyidae. -Se limitó la colonización de parte de los "espartales" del "Camarón de vega" (<i>P. pugnax</i>). -No se registró daño en la vegetación de los "espartales" (incluso de observó su masiva floración). -Se observó una masiva recolonización de los fondos desecados por parte de vegetación terrestre, las cuales cubrieron hasta un 60% de los fondos emergidos. -Se registró un aparente incremento de zancudos Culicidae.

Tiempo	Estructura del hábitat físico	Calidad de agua	Biota acuática
18 meses post-terremoto	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las condiciones de hábitat registradas a los 40 días y seis meses del terremoto, en cuanto a desecación de los canales interiores, de los hábitats radiculares. -Se registró un claro incremento del intercambio con el agua de mar, lo cual se manifestó en cambios en los efectos de marea, los que fueron más evidentes en el río Tubul que en el río Raqui. 	<ul style="list-style-type: none"> -En los sectores que se mantuvieron inundados, se observó un claro incremento en la salinidad, profundidad y cambios de nivel e hidrodinamismo asociados a los ciclos de marea. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se mantuvieron las mortandades de organismos bentónicos de las áreas desecadas. -No se registró una recolonización de <i>T. dombei</i>, <i>E. kingii</i> y pero sí del cangrejo <i>H. crenulatus</i>. -Se registró daño parcial en la vegetación de los "espartales", limitada sólo a las riberas de los canales desecados.

Referencias

- Adam, P. (1990). *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Alveal, K. (1988). "Gracilaria de Tubul. Historia y significado de un recurso". *Gayana Botánica* 45: 119-140.
- Bertran, C. (1989). "Zonación I dinámica temporal de la macroinfauna intermareal en el estuario del río Lingue (Valdivia, Chile)". *Revista Chilena de Historia Natural* 62: 19-32.
- Bertrán, C., L. Vargas-Chacoff, F. Peña-Cortés, S. Mulsow, J. Tapia, E. Hauenstein, R. Schlatter & A. Bravo (2006). "Macrofauna bentónica de los humedales de tres lagos salinos en el borde costero del sur de Chile". *Ciencias Marinas* 32: 589-596.
- Carrasco-Lagos, P. (2003). *Variaciones de la estructura de ensamble de aves a lo largo de un gradiente ambiental en el humedal Tubul-Raqui, VIII Región, Chile*. Seminario de Investigación para optar al Grado de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción. 56 pp.
- Carrasco-Lagos, P. (2004). *Propuesta de manejo para la conservación del humedal Tubul-Raqui, VIII Región, Chile*. Tesis para optar al título profesional de Biólogo. Universidad de Concepción, Chile. 76 pp.
- Carrasco-Lagos, P. & M.C. Jiménez (2009). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR): Humedal Tubul-Raqui*. Propuesta Unidad de Biodiversidad, Departamento Protección de Recursos Naturales, CONAMA Región del Biobío. 39 pp.
- Chapman, V. (1974). *Salt marshes and salt desert of the world*. 2da Ed. V. von J Cramer, Lehre.
- Clasing, E., T. Brey, R. Stead, J. Navarro & G. Asencio (1994). "Population dynamics of *Venus antiqua* (Bivalvia: Veneracea) in the bahía de Yaldad, Isla de Chiloé, Southern Chile". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 177: 171-186.

- Constabel, S. (1993). *Ambientes sedimentarios de los estuarios Tubul y Raqui, VIII Región, Chile*. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción. 96 pp.
- Díaz-Jaramillo, M., J. Ferreira, L. Amado, J. Ventura-Lima, A. Martins, M. Retamal, R. Urrutia, C. Bertrán, R. Barra, J. Monserrat (2010). "Biomonitoring of antioxidant and oxidative stress responses in *Perinereis gualpensis* (Polychaeta: Nereididae) in Chilean estuarine regions under different anthropogenic pressure". *Ecotoxicol Environ Saf* 73: 515-523.
- EULA (2008). *Guía de manejo para terreno fiscal con alto valor en biodiversidad en la Región del Biobío. Sector humedal Tubul-Raqui*. Informe técnico Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción. 143 pp.
- Fariás, M., G. Vargas, A. Tassara, S. Carretier, S. Baize, D. Melnick & K. Bataille (2010). "Land-Level Changes Produced by the Mw 8.8 2010 Chilean Earthquake". *Science* 1:10.1126/science.1192094
- Ferraris, F. (1981). Hoja Arauco - Lebu, Región del Bío-Bío, escala 1: 250.000. Mapas Geológicos Preliminares de Chile, N° 5. Instituto de Investigaciones Geológicas. 10 pp.
- Figuroa, R. & C. Valdovinos (1997). "Productividad de pastizales salinos del estuario Lengua (Chile) a escala de paisaje ecológico: análisis de imágenes Landsat TM y experimentos in situ". *Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile*. 68: 7-11.
- Gallardo, C., M. Filún & C. Manque (2006). "*Kingiella chilénica* (Bivalvia: Cyamiidae); population dynamics, rates of survival, embryo production and annual recruitment of a semelparous brooding clam". *J. Mar. Biol. Ass. U.K* 86: 757-766.
- Grandjean, M. (1985). *Efecto de la temperatura sobre el balance energético y el crecimiento en *Hemigrapsus crenulatus* (Milne-Edwards, 1837) bajo condiciones de laboratorio*. Tesis de magíster. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Jaramillo, E., H. Contreras & C. Duarte (2007). "Community structure of the macroinfauna inhabiting tidal flats characterized by the presence of different species of burrowing bivalves in Southern Chile". *Hydrobiology* 580: 85-96.
- Jaramillo, E., H. Contreras & P. Quijón (2001). "Seasonal and interannual variability in population abundances of the intertidal macroinfauna of Queule river estuary, south-central Chile". *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 455-468.
- Jiménez, J. (1996). *Aspectos ecológicos en *Spartina densiflora* Brong.* Memoria para optar al grado de doctor en Biología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, España.
- Long, S. P.; Mason, C. F. (1983). *Saltmarsh Ecology*. Glasgow: Blakie.
- Mardones, M. (1971). Contribución al estudio de la ganadería. Análisis del libro de cuentas de la feria agrícola-ganadera de Arauco, Concepción, Chile. Universidad de Concepción. 4-16 pp.
- Navarro, J., E. Clasing, M. Lardies & R. Stead (2008). "Feeding behavior of the infaunal bivalve *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818). Suspension vs. deposit feeding". *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43: 599-605.
- Pequeño, G., H. Pavés, C. Bertrán & L. Vargas-Chacoff (2000). "Seasonal limnetic feeding regime of the 'robalo' *Eleginops maclovinus* (Valenciennes 1830), in the Valdivia river, Chile". *Gayana Zoología* 74: 47-56.

- RAMSAR (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). 124 pp.
- Retamal, M. (1981). "Catálogo ilustrado de los crustáceos de Chile". *Gayana Zoológica* 44: 1-110.
- SAG (2009). *Ley de caza y su reglamento. Legislación de fauna silvestre*. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables, 10 Ed., Santiago.
- San Martín, C., D. Contreras, J. San Martín & C. Ramírez (1992). "Vegetación de las marismas del centro-sur de Chile". *Revista Chilena de Historia Natural* 65: 327-342 pp.
- Stuardo, J. & C. Valdovinos (1989). "Estuarios y lagunas costeras: Ecosistemas importantes de Chile Central". *Ambiente y Desarrollo* 5: 107-115.
- Stuardo, J., C. Valdovinos, R. Figueroa & A. Occhipinti (1992). "Ambientes costeros del Golfo de Arauco y áreas adyacentes". Publ. EULA-Chile. *Ser. Mon. Cient.* 9: 1-157.
- Valdovinos, C. (2004). "Ecosistemas estuarinos". En: C. Werlinger, Ed. *Biología marina y oceanografía: Conceptos y procesos*. Trama Impresores S.A., Chile. 2: 395-414.
- Valdovinos, C. & N. Sandoval (2011). *Cambios ambientales del humedal Tubul-Raqui derivado del alzamiento cosísmico y tsunami, asociado al terremoto Mw 8,8*. Informe técnico de la Unidad de Sistemas Acuáticos, Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción, Chile.
- Valiela, I., E. Kinney, J. Culberston, E. Peacock & S. Smith (2009). "Global losses of mangroves and saltmarshes". En: Carlos M. Duarte, Ed. *Global loss of coastal habitats*. Fundación BBVA, Bilbao, España. 4: 107-138.
- Vásquez, D. (2009). *Delimitación y zonificación de los humedales costeros de Lengua y Tubul-Raqui: Orientaciones para el Ordenamiento Territorial de la Región del Bío-Bío*. Tesis para optar al título de Geógrafo, Universidad de Concepción, pp. 66-85.
- Vergara, O., P. Carrasco-Pagos, M.F. Saavedra & JC Ortiz (2008). *Fauna del humedal Tubul-Raqui, Provincia de Arauco. Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad*, CONAMA Región del Biobío. Ed. Impresos del Sur, Concepción Chile. 72 pp.
- Werlinger, C. & K. Alveal (1988). "Evaluación de algas en ambientes restringidos del Golfo de Arauco (Chile): Punta Fuerte Viejo a Río Tubul". *Gayana Botánica* 45: 461-474.