

CRECIMIENTO URBANO SOBRE GEOFORMAS COSTERAS DE LA LLANURA DE SAN PEDRO, AREA METROPOLITANA DE CONCEPCION¹

Carolina Martínez², Carolina Rojas³, Octavio Rojas⁴, Jorge Quezada⁵, Pablo López⁶ y Vannia Ruíz⁷

Resumen

Se analizaron los patrones espaciales del crecimiento urbano sobre las principales geoformas costeras de la llanura de San Pedro de La Paz, ribera sur del río Biobío, durante el período 1955-2015. A través del uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales recientes se identificaron estas geoformas costeras y se relacionaron con su contexto morfogenético. Utilizando fotografías aéreas correspondientes a los años 1955, 1978, 1992 y 1998 e imágenes satelitales de 2006 y 2015, se determinó la evolución de las manchas urbanas sobre estas geoformas. Para el análisis de las manchas resultantes se aplicaron indicadores de distancias, los cuales permitieron observar algunas características físicas de dispersión urbana. Se determinó que las geoformas costeras más intensamente ocupadas por el crecimiento urbano correspondieron a la planicie litoral, humedales, campos dunares y terrazas bajas. Se observó principalmente un crecimiento lineal, alrededor de la red de transporte entre San Pedro y Coronel. La dispersión urbana se acentuó desde 1992 producto de la periferalización y urbanización en zonas altas, además se ha intensificado la ocupación en la costa reduciendo la distancia de los asentamientos al centro de Concepción en 1.2 km. Se constató un fenómeno de conurbación costera en un área metropolitana.

Palabras claves: costa, crecimiento urbano, planificación territorial, dispersión urbana, geomorfología

URBAN GROWTH ON THE PLAINS OF SAN PEDRO, METROPOLITAN AREA CONCEPCION

Abstract

Spatial patterns of urban growth of San Pedro de La Paz coastal landforms (south of the Biobío river Banks) are analyzed for the period 1955-2015. Using aerial photographs and satellite images are identified the coastal landforms and relate to their morphogenetic context. Aerial photographs from 1955, 1978, 1992 and 1998 and satellite images from 2006 and 2015 were used to determined of the urban forms evolution over the landforms. For the analysis of the urban forms distances indicators were applied, which allowed to observe some physical patterns of urban sprawl. It was determined that the coastal landforms zones more intensely occupied by urban growth corresponded to the coastal plains, wetlands, dune fields and low terraces. It is mainly observed tentacular growth around the transport infrastructure network between San Pedro and Coronel. Urban sprawl is accentuated from 1992 product of peripheralization, and urbanization in high slopes zones, addition the coastal occupation has intensified in reducing the distance the coast of settlements from central business district in 1.2 km. The coastal conurbation of medium in metropolitan area is observed.

Keywords: coast, urban growth, territorial planning, urban sprawl, geomorphology

La antropización por urbanización, especialmente por crecimiento urbano, constituye uno de los procesos de mayor impacto sobre el sistema natural. A nivel mundial, este ha sido intenso en las últimas décadas, estableciéndose que el grado de urbanización ha aumentado de 29% en 1950 a 50% en 2008; así para 2050 se estima que cerca del 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas (Barragán y de Andrés, 2015; United Nations, 2014). En efecto América Latina y El Caribe, es una de las regiones más urbanizadas del mundo con una tasa de ocupación de un 80% (United Nations, 2014) potenciada por la fuerte migración campo-ciudad hasta la década de los noventa (ONU-HABITAT, 2012).

Especial relevancia tiene este fenómeno en áreas costeras, donde es causa de degradación ambiental por pérdida de servicios ecosistémicos, principalmente en humedales, alteración de la dinámica litoral –erosión– y contaminación por vertidos sobre cuerpos de agua. Hoy en día, aproximadamente 3 billones de personas, casi la mitad de la población mundial, viven a menos de 60 kilómetros de la costa (Woodroffe, 2003).

Sin embargo, la costa es un espacio reducido que comprende sólo el 20% de la superficie terrestre, pero entrega servicios ecosistémicos equivalentes al 77% del valor total del mundo –133.268 × 109 \$ US por año– generados principalmente en humedales y cuerpos de agua costeros (Constanza et al., 1997; Martínez et al., 2007). Según Constanza et al., (1997), el costo de perder 1 ha de humedales equivale a perder 22,3 dólares americanos por año, ya que estos pueden valorarse en un 45% del costo monetario que representan el total de los ecosistemas en el mundo –unos 14,9 billones de dólares americanos–.

De ahí que las áreas de mayor preferencia para la fundación de ciudades han sido históricamente bahías, deltas y estuarios, sobre los cuales se han desarrollado desde pequeños asentamientos hasta áreas metropolitanas, hecho que resulta evidente si se considera que 21 de las 33 mega ciudades del mundo, han sido fundadas en la costa (Martínez et al., 2007), ambientes que suelen ser considerados hábitats críticos por excelencia (Perillo, 1997; Barragán y de Andrés, 2015) debido a los graves problemas de uso y conservación que presentan.

Adicionalmente el crecimiento urbano en áreas metropolitanas, incluyendo las situadas en zonas costeras presentan una nueva estructura urbana, donde el antiguo modelo de ciudad compacta ha dado paso a un nuevo modelo denominado *urban sprawl*, cuya expresión espacial generalmente se caracteriza por una ocupación extensa, distante del centro, de baja densidad y fragmentada (Galster, 2001; López-Goyburu, 2012). Además de una ocupación extensiva del suelo, la urbanización dispersa difumina las actividades humanas, genera segregación socioespacial, degrada los recursos naturales y económicos, más allá de las necesidades propias del crecimiento de su población residente (Muñiz et al., 2006).

La dispersión de las ciudades costeras en el territorio plantea grandes desafíos para su gestión y sostenibilidad. La pérdida de densidad en zonas más distantes, significa el aumento de los costos de todas las infraestructuras y su mantenimiento debido al au-

mento de barrios cerrados, urbanizaciones periurbanas y zonas residenciales periurbanas. Esta situación ha sido analizada para el caso de las ciudades costeras por Barragán y de Andrés (2015), indicando que en ciudades pequeñas e intermedias de hasta 100.000 habitantes, el espacio costero es ocupado de una manera más dispersa, lo cual en las próximas décadas debería acentuar el fenómeno de conurbación costera, provocando un estado crítico para los ecosistemas marino-costeros.

En áreas costeras, la dispersión urbana con extensos usos residenciales, turísticos e industriales, ha ocasionado variadas consecuencias ambientales como la reducción de tierras arables, la pérdida de biodiversidad y la degradación del aire y calidad del agua (Penning de Vries *et al.*, 2002; Zhao *et al.*, 2006). La planificación territorial puede reducir estos efectos negativos, especialmente los socioeconómicos, siendo un buen ejemplo de ello Barcelona y su región metropolitana, ciudad costera y compacta por excelencia, la cual se ha urbanizado de forma significativa, pero sin extenderse de forma discontinua o desestructurada, sino articulada a partir de los principales accesos a la red viaria y los subcentros de población y empleo (Muñiz y García López, 2013).

En cambio en las ciudades chilenas, se ha intensificado los usos urbanos en las periferias, desencadenando desarrollos de baja densidad, fragmentados y caracterizados por una alta segregación residencial (Hidalgo y Arenas, 2009). En Chile, dos de las áreas con mayor crecimiento urbano, reconocidas como metropolitanas se han desarrollado sobre ambientes costeros de gran importancia ecológica, tales como humedales y dunas –Concepción y Valparaíso, respectivamente–. En ambas, la población es superior al millón de habitantes (INE, 2012). Otra área que emerge como muy urbanizada y costera es la conurbación La Serena-Coquimbo, la cual incluye una población de 412.000 hab. (INE, 2002).

El Área Metropolitana de Concepción –en adelante AMC–, compuesta por 11 comunas (en su mayoría costeras) es el segundo conglomerado urbano más importante del país agrupando al 48,7% de la población regional (INE, 2012). Aquí, la herencia morfo-genética de la cuenca de Arauco y del antiguo delta del Biobío ha permitido el desarrollo de extensas planicies de playa, humedales costeros, marismas, playas fósiles y antiguos pantanos (Ilabaca, 1980; Isla *et al.*, 2012). Los antiguos procesos sedimentarios fluvio-deltaicos del río Biobío se desarrollaron en una fosa tectónica subsidente, en la cual tuvieron lugar otros procesos regionales y globales tales como transgresiones marinas, sedimentación deltaica y subsidencias (Ilabaca, 1989). Por otro lado, las arenas negras del volcán Antuco provenientes del valle superior del río Laja, fueron depositadas en los sectores bajos del río Biobío cubriendo una parte de la actual zona de Rocuant-Andalién (Ilabaca, 1989, Galli, 1967). Esta importante carga sedimentaria derivada de múltiples fuentes, hizo posible un desarrollo rápido de la llanura deltaica (Ilabaca, 1989).

Rojas *et al.*, (2013b) analizaron la expansión urbana del AMC, a través de su forma urbana entre 1990 y 2009, estableciendo un crecimiento irregular y poco compacto (*urban sprawl*), con una expansión intensa pasando de 9.000 a 17.000 has, incrementando en un 96% la superficie construida en sólo 9 años. Se reconoce a la terraza superior del

río Biobío como el casco antiguo de la ciudad, sin embargo como se ha demostrado, el crecimiento urbano ha llevado a ocupar las terrazas aún más bajas con las consiguientes inundaciones fluviales y los desastres naturales asociados (Ilabaca, 1980; Mardones y Vidal, 2001; Mardones *et al.*, 2006, Rojas, 2015). Entonces la ciudad tradicional de la terraza superior reconocida en los centros cívicos de Concepción y Talcahuano se ha transformando en un paisaje dominado por nuevos desarrollos urbanos de baja densidad, cada vez más distantes con extensas infraestructuras de transporte y centros comerciales sobre zonas bajas y vulnerables de la costa, con una pérdida de superficie de alto valor natural (Smith y Romero, 2009; Rojas *et al.*, 2013b). Esta ocupación dispersa sería el resultado de un uso selectivo del suelo condicionado por la diversidad del sistema natural (Baeriswyl, 2009).

Con el propósito de analizar el patrón espacial del crecimiento urbano, algunas características de la dispersión y sus efectos sobre ambientes costeros frágiles, específicamente cambios en las geoformas costeras del AMC, se considera evaluar la zona costera denominada llanura de San Pedro (37°S), localizada en la ribera sur del río Biobío, que actualmente incluye la comuna de San Pedro de La Paz y parte de su conurbación con la comuna de Coronel. En este contexto, conocer cómo la expansión urbana transforma las geoformas de una ciudad costera, constituye un aspecto prioritario en el enfoque de planificación sustentable de la costa, ya que aporta a controlar las fuerzas motrices, evitar degradaciones por pérdida de funciones ecosistémicas, de patrimonio natural o cultural y proyectar las futuras intervenciones en la costa.

Materiales y métodos

Área de estudio

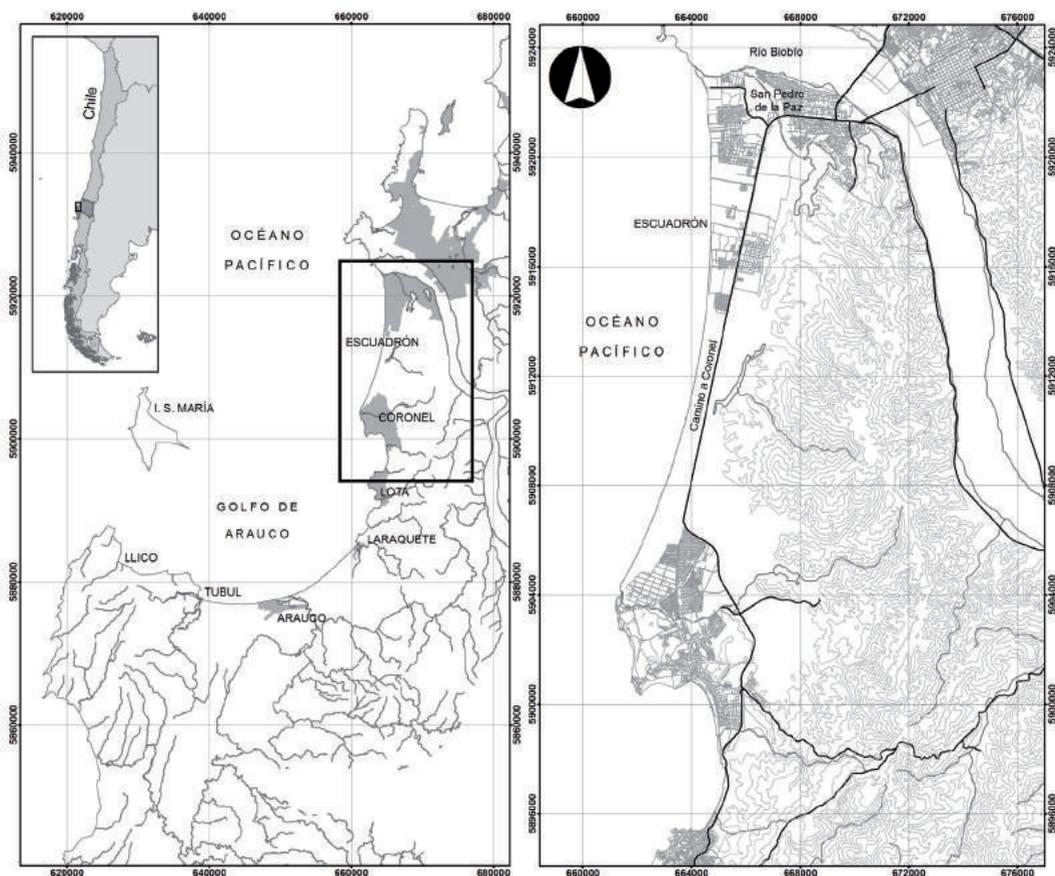
Este sistema costero se inscribe en la denominada "llanura de San Pedro" (Ilabaca, 1989), una antigua planicie litoral desarrollada durante el Cuaternario, donde actualmente se emplazan las comunas de San Pedro de la Paz y Parte de su conurbación con Coronel. Es un área de desarrollo por excelencia de humedales costeros, pantanos y marismas, cuya superficie se ha visto disminuida debido a la urbanización creciente (Smith y Romero, 2009). La superficie ocupada por el área de estudio es de 371.2 km² (Figura N°1).

Las condiciones climáticas de tipo mediterráneo con estación seca prolongada y lluvias concentradas en la estación invernal (Devynck, 1970) sumadas a los procesos litorales, han favorecido el desarrollo de extensos campos dunares en la región. La costa centro-sur de Chile, corresponde a un ambiente hidrodinámico de mar de fondo o *swell* proveniente del WSW en latitudes altas del océano Pacífico con un régimen de mareas mixto semidiurno (Araya-Vergara, 1971; SHOA, 1994).

San Pedro es una de las comunas que más ha crecido en superficie construida en el AMC, así también ha visto incrementar su densidad poblacional. Según Pérez y Salinas y (2009), durante el período de 1992 a 2002, la superficie urbana aumentó en un 7.6%, alcanzando las 1.021 has y la densidad se incrementó de 71 hab/has a 79 hab/has. De

acuerdo a Rojas *et al.* (2013b) para el año 2009 la superficie urbana de uso residencial, ya superaba las 2.000 has, localizándose más de 1.900 has a 10 km de la costa (Cantergiani *et al.*, 2012), siendo la tercera comuna en crecimiento luego de Talcahuano y Concepción (Rojas *et al.*, 2013b).

Figura N° 1 Área de estudio



Fuente: elaboración propia.

Metodología

El análisis del crecimiento urbano sobre las geoformas costeras se abordó a través de dos actividades: 1) la identificación y representación de geoformas costeras, así como su caracterización paleo-geomorfológica, y 2) la determinación de la expansión y las formas del crecimiento urbano sobre éstas.

Geomorfología y evolución paleo-geomorfológica

Para la caracterización paleo-geomorfológica, se utilizó la información geológica y geomorfológica de Brüggén (1950), Veyl (1961), Martínez (1968), Galli (1967), Aguirre *et. al.*, (1972), Mardones (1978), Pineda (1983, 1999), Ilabaca (1979, 1989 y 1994) y García (2004). Los datos de dataciones de la planicie de playa y líneas de paleocostas fueron extraídas de Isla *et al.*, (2012). Se elaboró una carta geomorfológica a escala 1:90.000 donde se identificaron las geoformas costeras agrupadas en formas de erosión y acumulación. Se utilizó para ello una base de datos cartográfica utilizando fotografías aéreas posterremoto 1:20.000 del año 2010 (Vuelo Bahía Arauco) y la imagen satelital Lansat 8 (con resolución de 30 m). Los datos de granulometría y posición relativa de la línea litoral para el período 1978-2013 fueron aportados por Martínez (2013).

Formas de crecimiento urbano

La expansión de la superficie urbana se obtuvo mediante técnicas de fotointerpretación (Araujo *et al.*, 2009; Rojas, 2015) y análisis de imágenes satelitales. Se utilizaron fotografías aéreas correspondientes a los años 1955 (Hycon-IGM, 1:70.000), 1978 (SAF-IGM, 1:20.000), 1992 (SAF-FONDEF, 1:20.000) y 1998 (GEOTEC, 1:70.000) e imágenes satelitales DigitalGlobe para los años 2006 y 2015 con resolución de 50 cm. Las imágenes fueron georreferenciadas en ArcGIS 9.3 mediante transformaciones polinómicas de segundo orden, obteniendo un Error Medio Cuadrático (EMC) de 1.4 m.

Una vez obtenidas las formas o manchas de crecimiento, se aplicó un conjunto de índices espaciales del valor de la distancia como variable de dispersión:

- Centralidad: Mide que tan alejados del centro urbano de Concepción (CBD) se han desarrollado los nuevos crecimientos urbanos de San Pedro. Se utiliza la media de distancia euclidiana desde el centroide de las manchas al centro de Concepción. Se considera extensivo crecimientos superiores al umbral de 7 km o distancia media entre San Pedro y Concepción según evaluación del crecimiento urbano del año 2009 (Rojas *et. al.*, 2013b).

Eq 1.
$$CE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Ci - CBD)^2}$$

Ci corresponde al centroide de cada forma y CBD al centro cívico de Concepción.

- Distancia a la línea litoral: Mide la proximidad de los nuevos crecimientos urbanos a la línea litoral. Se utiliza la medida de distancia euclidiana desde el centroide de la mancha a la línea más cercana. Se considera un umbral de 1 km o primera línea litoral, entonces crecimientos urbanos a distancias menores estarían asociados a destrucción de las playas y dunas.

$$\text{Eq 2. } DC = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Ci - LC)^2}$$

Ci corresponde al centroide de cada forma y LC la línea litoral.

Resultados

Evolución paleo-geomorfológica y geomorfología de la llanura de San Pedro

De acuerdo con las evidencias y estudios realizados en el AMC, el área corresponde a una cuenca tectónica generada por fallas normales desarrolladas por una tectónica tensional iniciada o reactivada durante el Plioceno superior o Pleistoceno inferior (Galli, 1967). Estos sectores deprimidos fueron rellenados posteriormente con depósitos sedimentarios de origen fluvio-deltaico, estuarial-marino y continental-marino, de acuerdo a los procesos prevalecientes, formando un gran delta que progradó hacia el mar, para luego quedar emergido debido a procesos tectónicos. Estos sedimentos corresponden a arenas de diferente origen, limo eólico y coluvio de laderas (Galli, 1967; García, 2004).

Posteriormente, el nivel de mar descendió al actual debido a levantamientos tectónicos causando el rejuvenecimiento del río Biobío, el cual a través de erosión vertical y lateral, cortó su conexión con las bahías de San Vicente y Concepción, migrando hacia el sur y desembocando al Golfo de Arauco, situación que hasta la fecha mantiene (Galli, 1967). Esto último permitió que el cañón submarino del mismo nombre, empalme nuevamente con el río Biobío, cuya cabecera se encuentra actualmente a 300 m de la costa, encauzando los sedimentos del río hacia el Golfo de Arauco (Pineda, 1999).

En la etapa final de la transgresión flandrense –entre 2.200 y 1.600 AP– se genera la progradación de la planicie litoral de San Pedro y el desarrollo de ambientes costeros de marismas, pantanos y campos dunares paralelos a la playa actual (Martínez, 1968). Aquí se han determinado para las antiguas líneas de paleocostas de Escuadrón cercanas a Coronel, una edad de 4370+/- 90 años BP (altitud 6 m) para el alto nivel del mar durante el Holoceno medio (Isla *et al.*, 2012). Lo anterior coincide con Galli (1967) quien indica que entre 1.500 y 3.000 años AP tuvo lugar la última transgresión marina denominada “transgresión Biobío” la cual habría alcanzado la actual curva de los 5 m.

En el sistema costero, se reconocieron formas de erosión correspondientes a terrazas fluviales del Biobío (terrazza superior o de nivel II) y terrazas de erosión que fluctúan entre los 50 y 150 m esculpidas en rocas metamórficas de la cordillera de Nahuelbuta. Las formas de acumulación reconocidas corresponden a la planicie litoral, campos dunares, llanura y depósitos aluviales, playa, cordones dunares y humedales (Figura N° 2). Estas unidades presentan distintos estados de conservación y han sido utilizadas para fundar los asentamientos humanos de la comuna.

Formas de erosión

Terraza superior del Biobío

Corresponde a una terraza fluvio-deltaica localizada a una altitud entre 4 y 12 m sobre la cual se asienta la ciudad de San Pedro de la Paz. Presenta una superficie de 6.2 km² -1.7% de la superficie total del área de estudio-. Esta terraza ha provocado el represamiento natural de las lagunas Grande y Chica de San Pedro. De acuerdo con Galli (1967) corresponde a la terraza Nivel II holocénica de la llanura de agradación del Biobío, que se encuentra bien drenada y sobre la cual se han fundado las ciudades de San Pedro y Concepción (Figura N° 2).

Terrazas de erosión del basamento metamórfico de la cordillera de Nahuelbuta

Estos relieves de erosión forman superficies escalonadas en cuatro niveles de altura y se desarrollan en la vertiente occidental de la cordillera de Nahuelbuta. Forman un relieve de altura que en conjunto presenta 228 km² -61.5% de la superficie total- y está constituido por rocas fuertemente meteorizadas y disectadas por el drenaje local. Las rocas que componen esta unidad se insertan en el denominado basamento cristalino de Galli (1967) o basamento metamórfico serie oriental (Veyl, 1961; Aguirre *et al.*, 1972). Este sector se compone de filitas micáceas, micacitas, cuarcitas micáceas y esquistos anfibólicos verdes, que derivan del metamorfismo regional (Veyl, 1961). La roca mejor distribuida es la filita de color gris medio, que en estado fresco es dura y tenaz, pero de fácil alteración a través de sus planos de foliación y cuando se meteoriza se manifiesta en la descomposición de magnetita, hematita y limonita (Galli, 1967).

El nivel I corresponde a la terraza de abrasión marina Cañete, identificada previamente por Veyl (1961) y reconocida por Kaizuka *et al.*, (1973). Esta terraza emergida o solevantada de edad pleistocena, presenta alturas entre 50 y 70 m con un ancho de 1 km, encontrándose separada de los niveles superiores a través de un paleoacantilado (Veyl, 1961; Kaizuka *et al.*, 1973). La edad de la terraza Cañete se ha asignado al estadio isotópico MIS 5 es decir, aproximadamente 100.000 años (Melnick *et al.*, 2009).

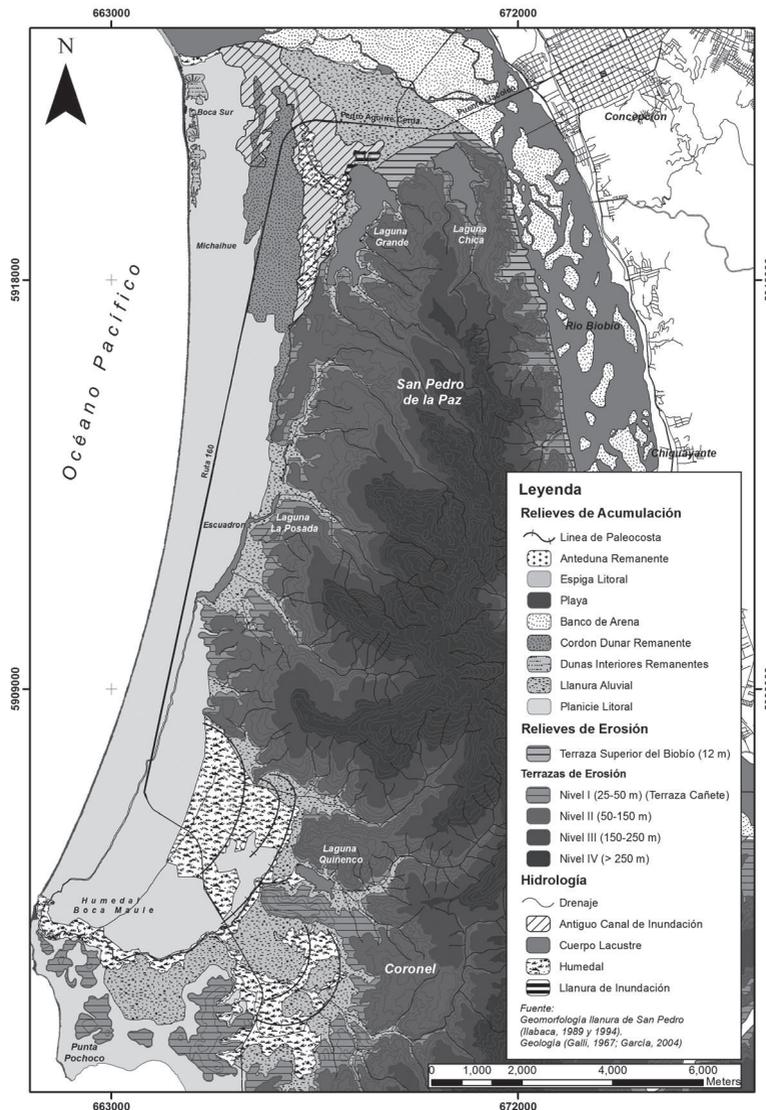
Formas de acumulación

Planicie litoral

La planicie litoral es la unidad con mayor superficie en el sistema costero, ocupa 93.2 km² -25.1% de la superficie total- y se extiende hasta 7,2 km al interior en Coronel y 2.1 km en el sector de Michaihue. La altura fluctúa entre 0 y 8 msnm y fue formada a expensas de la progradación de bermas sucesivas de playas asociadas a procesos de transgresión marina ocurridos durante el Holoceno. La mayor transgresión marina es conocida como transgresión flandrense, cuyo nivel más alto habría ocurrido entre 8.000 y 6.400 años AP de acuerdo a dataciones efectuadas, lo cual es coincidente con otros

registros en la región (Martínez, 1968; Galli, 1967). Está compuesta por depósitos litorales provenientes principalmente de la Formación Huachipato, es decir, por arenas volcánicas –basálticas– provenientes del valle del río Laja, las cuales forman la mayor potencia sedimentaria (Galli, 1967). Los materiales que forman la planicie litoral presentan granulometría fina, moderadamente seleccionada, la mayor parte de los granos son fragmentos de roca (basáltica de forma irregular), de magnetita, plagioclasa, hematita y vidrio volcánico, otros constituyentes menores son mica, olivino y cuarzo (Galli, 1967 en Ilabaca, 1994; García, 2004).

Figura N° 2 Geomorfología de la llanura de San Pedro.



Fuente: elaboración propia

Formas de acumulación

Planicie litoral

La planicie litoral es la unidad con mayor superficie en el sistema costero, ocupa 93.2 km² -25.1% de la superficie total- y se extiende hasta 7,2 km al interior en Coronel y 2.1 km en el sector de Michaihue. La altura fluctúa entre 0 y 8 msnm y fue formada a expensas de la progradación de bermas sucesivas de playas asociadas a procesos de transgresión marina ocurridos durante el Holoceno. La mayor transgresión marina es conocida como transgresión flandrense, cuyo nivel más alto habría ocurrido entre 8.000 y 6.400 años AP de acuerdo a dataciones efectuadas, lo cual es coincidente con otros registros en la región (Martínez, 1968; Galli, 1967). Está compuesta por depósitos litorales provenientes principalmente de la Formación Huachipato, es decir, por arenas volcánicas -basálticas- provenientes del valle del río Laja, las cuales forman la mayor potencia sedimentaria (Galli, 1967). Los materiales que forman la planicie litoral presentan granulometría fina, moderadamente seleccionada, la mayor parte de los granos son fragmentos de roca (basáltica de forma irregular), de magnetita, plagioclasa, hematita y vidrio volcánico, otros constituyentes menores son mica, olivino y cuarzo (Galli, 1967 en Ilabaca, 1994; García, 2004).

Actualmente presenta una fisonomía diferenciada, caracterizada en su zona norte por el desarrollo de antiguos pantanos, bermas de playa y líneas de paleocostas, cordones dunares, marismas y humedales, las cuales se han ido modificando por causas antrópicas. Ilabaca (1994) contabilizó unos 30 cordones de playa antiguos o líneas de paleocostas en el sector de Escuadrón, mientras que Galli (1967:144) detectó 50 más al sur, en el sector de Coronel, donde se encontraron mejor conservados. Al sur de Michaihue (sector Escuadrón), Ilabaca (1994) reconoció 5 cordones de playa alargados y paralelos con alturas entre 9 y 10 m.

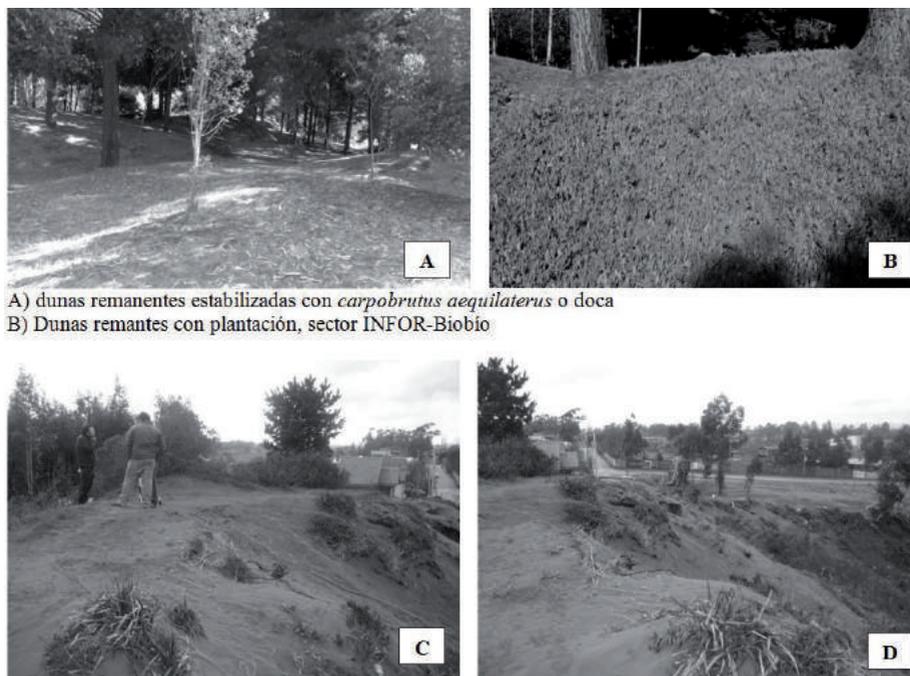
Cordones dunares

En la llanura de San Pedro, sector norte, se desarrolló hasta los años setenta un extenso campo dunar, con alturas de hasta 30 m (Ilabaca, 1979). Se identificaron dos tipos de dunas en el área: las dunas antiguas o paleodunas y las antedunas o dunas primarias vegetadas.

- *Dunas antiguas o paleodunas*: forman cordones remanentes de unos 4.9 km² (1.3% del total) localizados principalmente en la zona norte (Los Batros) ocupada por antiguos pantanos, sin embargo, han sido geofomas relevantes en la evolución geomorfológica de la llanura de San Pedro. Su desarrollo contribuyó a estabilizar mediante procesos de progradación, los sucesivos cordones de playa que las condiciones de estabilidad climática y tectónica ayudaron a formar. Ilabaca (1994) identificó en el sector de Boca Sur Viejo y en la población Michaihue, dos cordones dunares remanentes con alturas entre 11 y 15 m el primero y de hasta 18,9 m en el segundo. El eje de estos cordones se relaciona con la prograda-

ción de bermas de playa que ha quedado evidenciada a través de las líneas de paleocostas abandonadas. Un cordón dunar mejor conservado se localiza en la sede del Instituto Forestal (INFOR), sede Biobío, ubicado en la población Michaihue. Estas dunas han desarrollado un suelo incipiente, presentan alturas de hasta 13 m y se encuentran en parte estabilizadas con doca (Figura N° 3a). En la población Boca Sur, se ubica otro cordón dunar remanente con altura de 9 m. Esta unidad ha sido utilizada por la población como área segura en caso de tsunami, siendo una de las áreas con mayor degradación ambiental (Figura N° 3c). La composición de estas dunas corresponde a arenas finas a medias, mezcladas con limo eólico, que forman depósitos sin cementación y estratificación aparente (García, 2004).

Figura N° 3
Cordón de dunas remanentes, sector Michaihue



A) dunas remanentes estabilizadas con *carpobrutus aequilaterus* o doca
B) Dunas remanentes con plantación, sector INFOR-Biobío

C y D) Duna remanente en sector Boca Sur

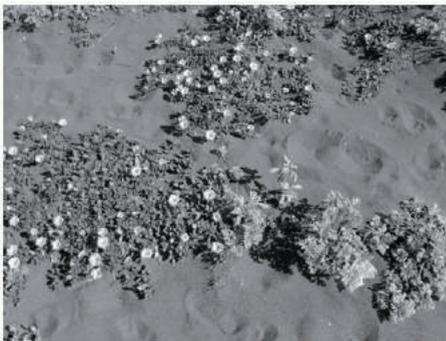
Fuente: Carolina Martínez (Enero de 2014)

- *Antedunas*: Son dunas monticulares de baja altura y estabilizan la playa trasera a través de la fijación de las arenas por parte la vegetación pionera. Ocupan 0.02 km² y presentan mayor desarrollo solo en algunos sectores ya que por causas antrópicas se encuentran fuertemente degradadas. Dado que las marejadas son fenómenos cada vez más frecuentes en esta costa, las dunas presentan perfiles truncados debido a la erosión de las olas (Figura N° 4A). Las especies que contribuyen a fijar las arenas son *Ambrosia chamissonis* y *Carpobrutus aequilaterus* (doka). Otras especies fijadoras son *Nolana paradoxa* (suspiro de mar) y *Dichondra sericea* (oreja de ratón).

Figura N° 4
Vegetación pionera de las antedunas en playa Escuadrón



A) Antedunas vegetadas, playa Escuadrón (erosionadas por olas de tormenta, julio 2013)



B) *Ambrosia chamissonis* v *Nolana paradox*



C) *Dichondra sericea*

Fuente: A) Carolina Martínez (julio de 2013); B) y C) (enero de 2014).

Llanura aluvial

La llanura aluvial se localiza dentro de la antigua llanura fluvio-marina del Biobío y corresponde principalmente a un área de depositación de materiales aluviales asociada al estero Los Batros. Presenta 18.5 km² -5% de la superficie total-. Las alturas no superan los 5 m y genéticamente correspondería a un antiguo desagüe de áreas bajas y pantanosas delimitados por cordones marinos y por lo tanto, de antiguas líneas de costa (Ilabaca, 1994). En esta llanura se localizan además cordones dunares remanentes, constituidos por arenas finas a medias y limo eólico mezclado con arenas muy finas (García, 2004). Estas corresponden a dunas internas estabilizadas de Ilabaca (1994). El conjunto de esta unidad comprende 18.5 km².

Playa

La playa actual tiene una extensión de 18,6 km de largo, su ancho fluctúa entre 30 m y 40 m en verano y 20 m en invierno debido a la estacionalidad climática. Es importante destacar que de acuerdo a investigaciones recientes, la línea litoral de la playa

Escuadrón presenta una tasa media de avance de 0.60 m/año para el período 1978-2013, sin embargo en algunos tramos, como por ejemplo frente a la desembocadura y frente a Coronel, presenta una tendencia erosiva de -0.20 m/año (Martínez, 2013).

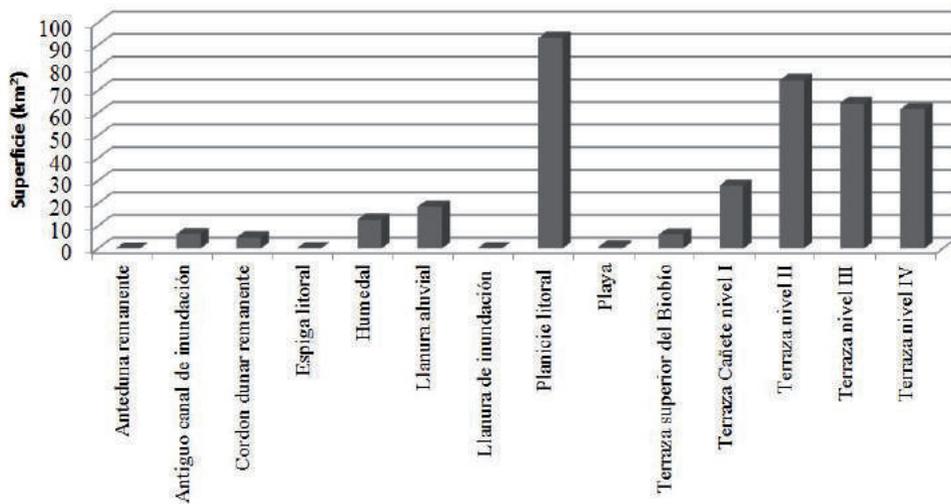
De acuerdo con estos mismos estudios (Martínez, 2013), las arenas que componen esta playa (zona de rompiente) corresponden predominantemente a arenas medianas seguidas de arenas gruesas y están compuestas por los siguientes minerales: cuarzo plagioclasa, hematita y magnetita. Esto último es concordante con el origen de los depósitos que han formado la planicie de playa de la llanura. La playa progradada en la ribera sur a través de una espiga litoral recurvada de unos 1.3 km de largo, siendo un factor relevante de la morfología estuarial del Biobío y su funcionamiento ecosistémico.

Humedales

Las lagunas de San Pedro fueron formadas por represamiento debido a la sedimentación aportada por los acantilados de la cordillera de Nahuelbuta, en un período en que el área constituía el antiguo frente deltaico (Ilabaca, 1994). El humedal más representativo de San Pedro es Los Batros, mientras que las lagunas son laguna Grande y Chica, otros cuerpos de agua la desembocadura del río Biobío, Boca Maule, La Posada, Coronel, Lagunillas (Ruta-160) y la laguna Quiñenco (Coronel).

En el sector sur del humedal Boca Maule, hacia el contacto con la cordillera de Nahuelbuta, los depósitos aluviales están compuestos por arenas gruesas oscuras, provenientes principalmente de basaltos y conchas marinas saturadas en agua y por sedimentos finos, limos, arcillas, arenas finas y abundante materia orgánica, es decir, materiales representativos de marismas, pantanos y humedales (García, 2004). De acuerdo a la figura N°5, las unidades con mayor representatividad en cuanto a distribución espacial corresponden a la planicie litoral, a las superficies de erosión de la Cordillera de Nahuelbuta, a los humedales y la masa dunar, principalmente cordones remanentes. Los humedales presentan una superficie de 12.7 km² en la llanura de San Pedro y representan el 3.4% de la superficie total (Figura N° 5).

Figura N° 5
Distribución espacial (km²) de las geoformas costeras, Llanura de San Pedro.



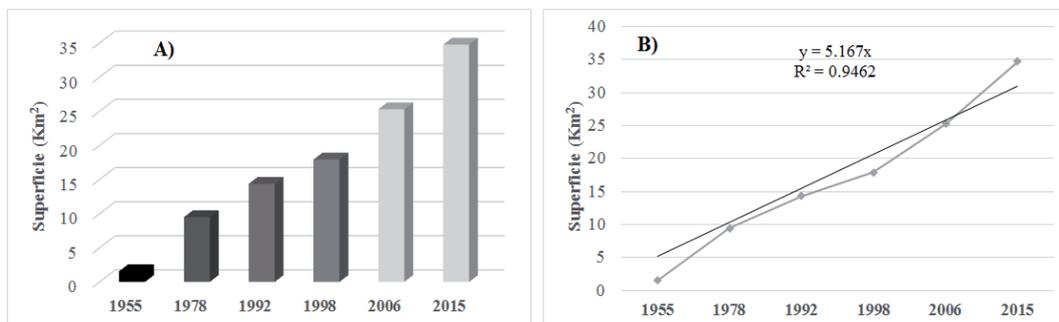
Fuente: elaboración propia.

Formas de crecimiento urbano sobre las geoformas costeras

La superficie urbana en 60 años ha crecido con una tasa de 0,6 km². La diferencia desde el primer año evaluado hasta el 2015 es de 33 km² (Figuras N° 6 y N° 7). En detalle, los primeros asentamientos urbanos en 1955, en la llanura de San Pedro, alcanzaban una superficie de 1.55 km² (Figura N° 7), ocupando preferentemente la zona de Coronel sobre extensos humedales (Boca Maule-La Posada), la antigua planicie litoral y los sectores de terrazas bajas (nivel I) constituidos principalmente por la formación Curanilahue, ligados a la industria del carbón, ya industrializada a principios de 1850 a través de la *Compañía y Fundición Schwager*. Las superficies crecieron a una distancia media del centro de Concepción de 23 km y de la costa de 1.25 km (Cuadro N° 1). Esta zona corresponde a un sector amplio de la Llanura de San Pedro y a las áreas urbanizadas de Boca Maule y Puchoco más cercanas a la costa, el sector de la actual calle San Luis, hacia Coronel y algunos fragmentos en la zona de Boca Sur.

Posteriormente, en 1978, la superficie urbana aumentó a 9.47 km² ocupando la mayor parte de la llanura aluvial de los Batros, razón por la cual la distancia al centro de Concepción disminuyó notoriamente a 12 km, mientras que hacia la terraza superior del Biobío, aladaña al casco histórico de Schwager y hacia Escuadrón, aumentó levemente la distancia a la costa a 1.9 km. Además se presentó un primer crecimiento lineal hacia Coronel por el sur y Concepción hacia el norte, siguiendo el eje vial (ruta 160-Coronel).

Figura N° 6
Tendencia del crecimiento urbano en la llanura de San Pedro, período 1955-2015



Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 1 Índices de forma de crecimiento urbano.

Año	Area km ²	CE m	DC m
1955	1.55	23.32	1.25
1978	9.47	12.11	1.91
1992	14.36	12.71	1.41
1998	17.92	13.24	1.32
2006	25.28	13.28	1.24
2015	34.74	13.31	1.24

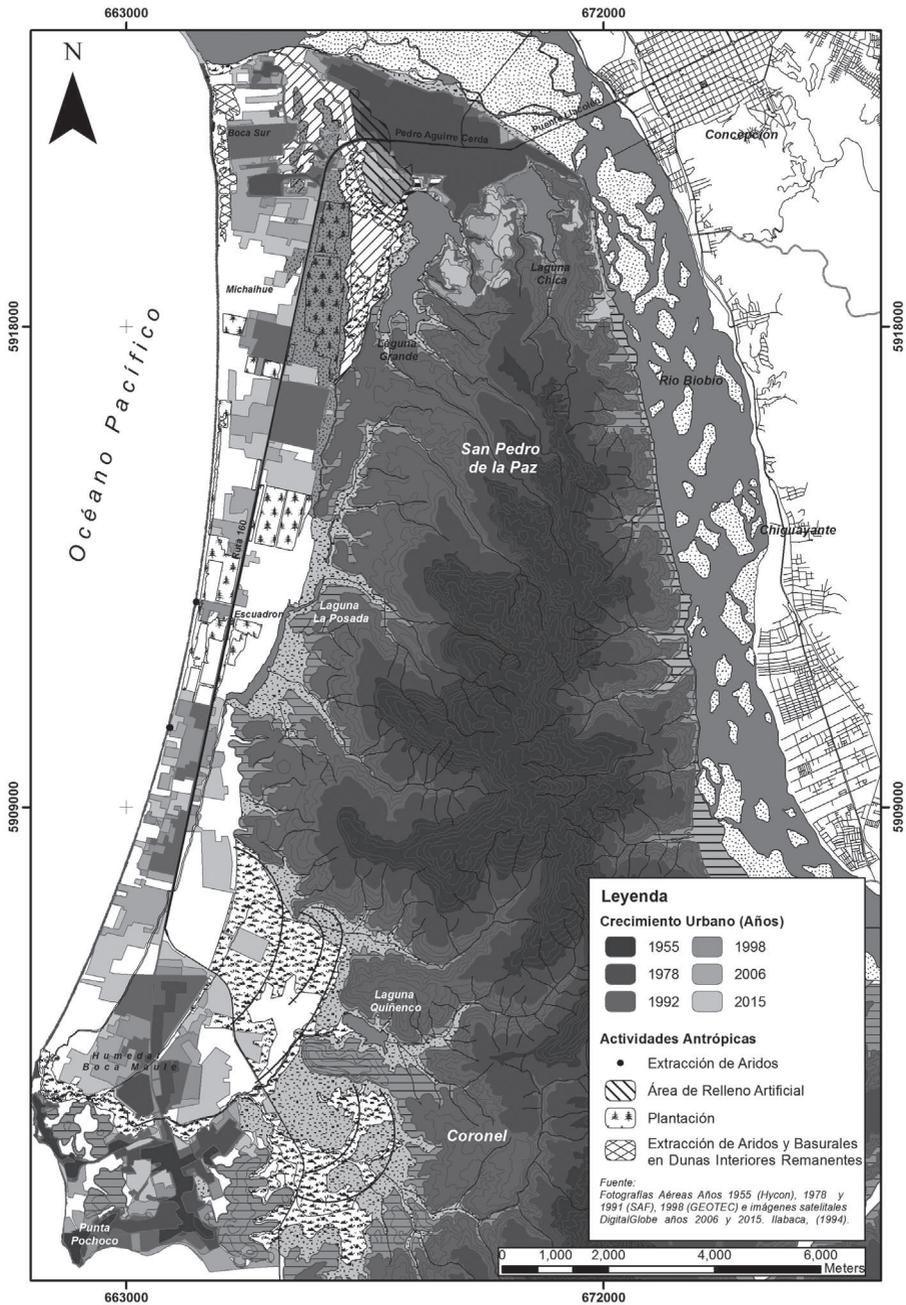
Fuente: elaboración propia

En 1992, la superficie urbana se incrementó a 14.36 km², dando inicio a la ocupación de la planicie de playa en el sector Escuadrón, mediante un crecimiento tentacular por la ruta 160 San Pedro-Coronel. La distancia al centro aumentó a 13 km y a la costa se redujo a 1.4 km. En Boca Sur se localizaron nuevos asentamientos que incluyen Michaihue, Boca Sur Nuevo y Boca Sur Viejo (Figura N° 8), éste último hacia la desembocadura del Biobío, evidenciando un proceso de periferización y fragmentación al aumentar el número de manchas. Aquí se incluyen las erradicaciones de los campamentos de Concepción realizadas por el Gobierno Militar, proceso que se extendió hasta 1986 y posteriormente continuó con una política de viviendas sociales, que se explica por el bajo valor comercial del suelo periférico. Hacia Coronel, se creó una nueva superficie urbana en el sector de La Foresta, en ambos lados del eje vial, ocupando el ancho de la planicie litoral.

En 1998 comenzó a consolidarse el crecimiento lineal como tendencia, aglomerando superficies en zonas ya urbanizadas, alcanzando una superficie urbana de 17.92 km², la cual se caracterizó por ocupar las áreas aledañas a los sectores ya urbanizados

para 1992 y hacia la zona de Escuadrón y Coronel, formando parte del parque industrial de Coronel, con una distancia de 13 km del centro y a 1.3 km de la costa.

Figura N° 7
Evolución del crecimiento urbano en la llanura de San Pedro, período 1955-2015.



Para 2006, la superficie urbana alcanzó los 25.28 km², ocupando zonas extensas de la planicie de playa y el humedal Los Batros. Aquí se produjo una ocupación importante en la zona alta de San Pedro, entre las lagunas Grande y Chica, específicamente en el sector Andalué, aumentando la distancia a 13.28 km del centro, dado que el modelo de ocupación responde al desarrollo inmobiliario de viviendas unifamiliares sin transporte público, dejando en claro las primeras evidencias de dispersión urbana.

Para 2015 la superficie urbana es de 34.74 km² presentándose un notable incremento en gran parte de la llanura de San Pedro, con ocupación en la zona superior del humedal Los Batros (sector El Venado), la cual se extiende hasta la terraza superior del Biobío, frente a la laguna Chica (Santa Anita, Los Jesuitas). La distancia al centro se mantiene en 13 km aumentando levemente y a la costa en 1.24 km. En Boca Sur, se ocupa la llanura aluvial y las zonas húmedas de la desembocadura del Biobío, principalmente por viviendas sociales.

Figura N° 8

Vista aérea del modelo de urbanización en el sector Boca Sur, llanura de San Pedro



Fuente: Carolina Martínez (Febrero de 2013)

Discusión y conclusiones

El Área Metropolitana de Concepción se ha desarrollado en la planicie litoral holocénica, localizándose aquí diversas actividades económicas, tales como industriales, portuarias y turísticas sobre áreas de antiguos pantanos, marismas, humedales y sobre suelos de fundación poco adecuados para la urbanización, dada la naturaleza de su sitio geomorfológico (Galli, 1967; Mardones, 1978). En el desarrollo de los asentamientos, el punto central de la urbanización ha sido el curso inferior del río Biobío; su crecimiento en los cascos antiguos siguió el modelo de cuadrículas (plano damero), es decir, expandiéndose alrededor de las manzanas centrales, tendiendo a una forma más compacta y también a la “mancha de aceite” conglomerada. Sin embargo, actualmente las actuales dinámicas relacionadas con los modelos de ocupación de suelo en las distintas ciudades del AMC hacen suponer que estas están cambiando su antiguo patrón y tienden a dar paso a nuevas formas de crecimiento lineal y fragmentación (Rojas *et al.*, 2009) especialmente en territorios de reciente crecimiento como el caso de San Pedro de la Paz.

En primer lugar, se constata un fenómeno de conurbación costera de las ciudades intermedias de San Pedro y Coronel pertenecientes al AMC. En segundo, se ha intensificado la ocupación en la costa, reduciendo la distancia de los asentamientos a 1.2 km de esta, siguiendo la tendencia de ciudades de costa mediterránea de ocupar el primer kilómetro de franja, sin evidenciar las consecuencias ambientales que ese modelo trae, especialmente en dunas y playas. Esto se relaciona con la despreocupación histórica que existe en el país sobre su espacio costero, este último asociado al concepto de borde costero, es decir una franja estrecha no superior a 200 m, reconocida por la legislación pero disociada del funcionamiento natural de la zona costera, esta última de extensión mucho más amplia y de difícil delimitación (Martínez, 2015). Proyectos inmobiliarios ejecutados dentro del borde costero –por ejemplo el edificio Olas y Condominio Bosquemar en playa Escuadrón–, que colindan directamente en la playa y su anteduna son comunes en numerosas partes del mundo, sin embargo, el deterioro que causan en la zona costera está documentada ampliamente y hoy son ejemplos de insostenibilidad urbana (Barragán y de Andrés, 2015).

Los resultados obtenidos demuestran un crecimiento lineal, alrededor de la red de transporte entre San Pedro y Coronel. Un primer patrón (1955) se dio a partir de nuevas superficies urbanas sobre extensos humedales (Boca Maule-La Posada) y terrazas bajas (entre 25 y 50 m), donde se asentaba la industria del carbón, primando la importancia de Coronel ante Concepción; un segundo patrón en 1978 corresponde al crecimiento lineal hacia Coronel sobre la planicie litoral; y entre 1992 y 1998 comienza un proceso de periferización y fragmentación, incluyendo crecimiento en zonas bajas y altas de la costa, consolidando el crecimiento lineal hacia Coronel. Debido a que San Pedro crece en forma de islas separadas del centro, principalmente con viviendas de altos ingresos localizadas en cerros con vista a los humedales y al ser una ciudad con un entorno natural de gran belleza escénica, se convirtió en un polo de atracción para proyectos inmobiliarios –sectores de Idahue y Andalué– (Rojas *et al.*, 2011).

En este sentido, la dispersión urbana se acentuó desde 1992 producto de la periferyización, incluyendo sectores de topografía más alta a la llanura. El crecimiento urbano en sectores como Idahue y Andalué responde a dos causas típicas de un modelo de dispersión: la primera de ellas tiene relación con la demanda, siendo el reflejo de las preferencias y aspiraciones de las familias (en su mayoría) que quieren vivir una vida en los suburbios distantes del centro y la segunda, pone énfasis en la dispersión no sólo como el resultado de la demanda de hogares individuales y vivienda suburbanas, sino que también de políticas gubernamentales urbanas, haciendo referencia sobre todo en políticas relacionadas a planes de desarrollo urbano y al manejo de los usos de suelo (Jackson, 1985 en Heinrichs *et al.*, 2009). Los impactos de este modelo, de los cuales no es ajeno el caso de San Pedro se resumen en altos costos económicos sociales y medioambientales, aspectos que actualmente son reconocidos en el mundo como limitaciones al desarrollo sustentable de las ciudades. Las ciudades dispersas requieren más carreteras, sistemas de transporte y otras instalaciones (ONU-HABITAT, 2012) y a largo plazo es un modelo insostenible.

Respecto a las geoformas, se determinó que las más intensamente ocupadas por el crecimiento urbano son la planicie litoral, humedales, campos dunares remanentes, llanura aluvial, terrazas bajas de nivel I y II y terraza superior del Biobío. De estas, la planicie de playa y las terrazas bajas son las que presentan la mayor representatividad en cuanto a distribución espacial. La terraza superior del Biobío (12 m) sirvió de emplazamiento a San Pedro Viejo y la Villa de San Pedro, actualmente constituyen un importante centro urbano. Otra parte ocupa la llanura aluvial y el humedal Los Batros, siendo áreas con extensos rellenos artificiales.

En relación a los campos dunares estos son los ambientes con mayor degradación ambiental. En San Pedro, la mayor parte del campo dunar localizado en la zona norte de la llanura, ha sido alterado progresivamente debido a la extracción de áridos y la construcción de viviendas (Ilabaca, 1994), actividades que se mantienen a la fecha en las áreas de playa Escuadrón y Boca Sur (Martínez, 2013), por tanto su presencia se reduce solo a cordones remanentes y relictos. Otra parte importante está afectada por vertederos clandestinos y microbasurales, como se observa en la desembocadura sur del Biobío, humedal Los Batros y en barrio Boca Sur. En el caso de las antedunas, su morfología apenas se mantiene debido a la extracción activa de áridos en varios tramos de la playa, esto hace que duna pionera desarrolle escasa altura y sea de fácil destrucción, contribuyendo al proceso de erosión costera, el cual ya se ha establecido para playa Escuadrón (Martínez, 2013). La urbanización sobre dunas trae varias consecuencias tales como alteración del perfil de equilibrio de la playa favoreciendo la erosión y con ello las inundaciones provocadas por olas de tormentas, marejadas e incluso tsunamis.

Considerando los efectos del tsunami del 27 de febrero de 2010, muchas de las localidades costeras de la región tales como Cobquecura y Vegas del Itata fueron protegidas por campos dunares de gran desarrollo, sin embargo, aquellos degradados por causas antrópicas fueron mayormente afectados –Perales, bahía de Lebu, Tirúa, Llico–. Por otro lado, las dunas contribuyen a la calidad paisajística y ambiental de la costa sien-

do un recurso natural por excelencia. Los cordones dunares remanentes y las antedunas en la llanura de San Pedro deberían contar con planes de manejo o protección con el fin de detener la degradación ambiental que actualmente experimentan debido a la urbanización y a las actividades económicas. La forma de urbanización sobre unidades de acumulación es representativa de otros casos cercanos al área de estudio. Así por ejemplo Rojas (2015), determinó para la sección baja de la cuenca del río Andalién sector norte del río Biobío (comunas de Concepción y Talcahuano) un crecimiento de 1.458 has en el período 1943-2011; de ellas 872 has se han construido sobre relieves de acumulación tales como la llanura modelada en dunas, las marismas y las llanuras fluviales, modificando así la red hídrica, lo que se relaciona directamente con el incremento de los desastres asociados a inundaciones fluviales.

Un aspecto a destacar es la urbanización sobre los humedales. Considerando el contexto, la superficie de estos en Concepción Metropolitano, ha disminuido en un 40% desde 1975 (Smith y Romero, 2009) con efectos en su biodiversidad (Rojas *et al.*, 2015). En la llanura de San Pedro se encontró que los humedales constituyen el 3.4% de la superficie total y son áreas que actualmente presentan la mayor presión por urbanización. Aquí, es relevante contar con inventarios y monitoreo de su calidad ambiental, si bien hoy se cuenta con inventarios (EULA, 2011), el monitoreo sobre su funcionamiento es vital para la toma de decisiones en planificación territorial, especialmente para aquellos que pueden ser protegidos considerando su alto valor endémico.

Otros, más pequeños pueden ser manejados para evitar la fragmentación de hábitats y de servir de reservas verdes del AMC, de cualquier forma, la urbanización sobre humedales debería ser una práctica erradicada en llanura de San Pedro debido a la gran pérdida de superficie en estos ambientes. Los nuevos proyectos inmobiliarios y vialidad deberían considerar la morfología y el funcionamiento de los ambientes costeros frágiles, privilegiando la sustentabilidad ambiental y no el crecimiento urbano fragmentado y disperso con grave impacto ambiental. Se sabe que el Gran Concepción consume en promedio 89 ha/año de suelo para uso residencial, valor que puede incrementarse en la próxima década, lo cual obligará a contar con una legislación capaz de proteger el suelo con mayor sensibilidad ambiental (Baeriswyl, 2009).

Probablemente el mayor crecimiento en la llanura se proyecte sobre las terrazas de erosión más altas, las que a su vez ocupan la mayor superficie del área (61.5% del total). Debido al origen y al tipo de materiales sedimentarios que componen estas terrazas, el emplazamiento de nuevos barrios generará alteraciones en los taludes dado que estas áreas están ya afectadas por una erosión hídrica intensa.

Los efectos de la urbanización son particularmente relevantes para las ciudades costeras de países menos desarrollados. Aquí se localiza la población más vulnerable a fenómenos naturales en especial eventos extremos, los cuales generan mayores problemas al desarrollo humano y la calidad ambiental, tal como se ha visto en las últimas décadas ya que solo el 10% de los desastres naturales se registran en los países desarrollados (Barragán y de Andrés, 2015). En San Pedro, la herencia morfogenética asociada

a procesos fluvio-deltaicos sigue siendo una impronta que se recuerda cada vez que acontecen eventos extremos, principalmente inundaciones fluviales y anegamientos. En este sentido, las crecidas extraordinarias o derrames fluviales han sido acontecimientos frecuentes en la antigua llanura del Biobío como lo indicaban ya Galli en 1967 y Mardones en 1978.

Así también, desde el punto de vista sísmico, se sabía a partir de Galli (1967) que los mayores daños sobre las estructuras civiles se producen sobre relleno artificial, especialmente depósitos de pantanos o en superficies cercanas a niveles freáticos. Estas áreas desarrollan procesos de licuefacción como aconteció con el último terremoto de 2010 en las áreas urbanizadas sobre antiguos humedales (Martínez y Belmonte, 2012). Un número importante de amenazas naturales estudiadas en el contexto de los riesgos naturales (Mardones y Vidal, 2001; Mardones *et al.*, 2004; Rojas, 2015) dan cuenta de esta funcionalidad mal entendida en la planificación territorial y desarticulada de los instrumentos de planificación, especialmente en ciudades intermedias y localidades pequeñas (Martínez, 2015).

Para el futuro desarrollo urbano de San Pedro –sin estar en contra de la urbanización– será necesario monitorear la velocidad de ésta y el impacto global de ocupación del espacio costero en AMC, especialmente en los primeros kilómetros de costa. Es importante que no se importen modelos en los cuales se artificializa la costa. Recordemos que un rápido crecimiento urbano entre otros efectos, conlleva un desempleo creciente, degradación ambiental, falta de servicios urbanos, sobrecarga de la infraestructura existente y carencia de acceso a la tierra, recursos financieros y una vivienda adecuada (UNCHS, 2001). Por todo lo anterior, y las tendencias de cambio climático global, uno de los principales retos del futuro será el manejo de la sustentabilidad del medio ambiente urbano, el equilibrio entre la construcción de viviendas y espacios de protección de los ecosistemas costeros del AMC, ya que aquí se concentra la mayor presión por urbanizar.

Referencias bibliográficas

AGUIRRE, L.; HERVE, F. y GODOY, E. Distribution of metamorphic facies in Chile-An outline. *Kristalinikum*, 1972, N° 9, p. 7-19.

ARAYA-VERGARA, J. Determinación preliminar de las características del oleaje en Chile Central. *Not. Mens. Mus. Nac. Hist. Nat.*, Santiago Chile, 1971, Vol. 15, N° 174, p. 8-12.

BAERISWYL, S. Crecimiento urbano del Gran Concepción, patrones y tendencias de una Metropolización. En: HIDALGO, R.; DE MATTOS, C. y ARENAS, F. (eds.), *Del país urbano al país metropolitano*. Santiago: GEOlibros-Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 241-255.

BARRAGÁN, J. y DE ANDRÉS, M. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, 2015, N° 114, p. 11-20.

BARRAGÁN, J. *Medio Ambiente y Desarrollo en Áreas Litorales. Introducción a la Planificación y gestión Integradas*. Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones, 2003.

BRUGGEN, J. *Fundamentos de la geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, 1950.

CANTERGIANI, C.; ROJAS, C. y VIVANCO, M. Identificación de dinámicas y patrones de ocupación del suelo en la costa del Área Metropolitana de Concepción-Chile. En BARRAGÁN, J. (Coord.), *Libro de Resúmenes I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales*. Cádiz: Grupo de Investigación Gestión Integrada de Áreas Litorales, Universidad de Cádiz, 2012, p. 199-209.

CHEN, WY. y JIM, CY. Cost-benefit analysis of the leisure value of urban greening in the new Chinese city of Zhuhai. *Cities*, 2008, N° 25, p. 298-309.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.. SUTTON, P. y VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature*, 1997, N° 387, p. 253-260.

CREIXELL, C. 2001. *Petrología y geotermobarometría de las rocas intrusivas de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' y 38°00'S*. Memoria de Título, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, 2001.

EULA-CHILE. *Diagnóstico y propuesta para la conservación y uso sustentable de los humedales lacustres y urbanos principales de la región del Biobío. Propuesta Metodológica para el Manejo y Gestión para Humedales de la Región del Biobío*. Informe final, Concepción, 2011.

GALLI, C. *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, 1967.

GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M.; WOLMAN, H.; COLEMAN, S. y FREIHAGE, J. Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 2010, Vol. 12, N° 4, p. 681-717.

GARCIA, Y. *Aplicación de los métodos círculos de Mohr y programa reactiva 2.4 en el análisis del stress en las estructuras mayores del área de la ciudad de Concepción, VII Región del Biobío, Chile*. Tesis para optar al título de Geólogo, U. de Concepción, 2004.

HIDALGO, R. y ARENAS, F. Del país urbano al país metropolitano. Transformaciones recientes en las ciudades chilenas. En: HIDALGO, R.; DE MATTOS, C. y ARENAS, F. (eds.), *Del país urbano al país metropolitano*. Santiago: GEOlibros-Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 9-29.

ILABACA, P. *Transgresión marina reciente en el litoral de Concepción. Antecedentes morfológicos*. En: GALLARDO, V. (ed.), *Seminario sobre desarrollo e investigación de los recursos marinos de la VIII Región (Chile)*. Concepción: Universidad de Concepción, 1979, p. 31-45.

- ILABACA, P. Las condiciones naturales del sitio de Concepción Metropolitano. Instituto de Historia y Geografía, México, *Revista Geográfica*, 1980, N° 91-92, p. 141-145.
- ILABACA, P. Evolución de la costa de Concepción: el caso de las bahías de Concepción y San Vicente. *Biología Pesquera*, 1989, N° 18, p. 29-35.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). *XVIII Censo de población y VI de Vivienda*. Santiago de Chile: INE, 2002.
- ISLA, F., QUEZADA, J., MARTÍNEZ, C., FERNÁNDEZ, A. y JAQUE, E. The evolution of the Bío-Bío delta and the coastal plains of the Arauco Gulf, Bío Bío Region: the Holocene sea-level curve of Chile. *Journal of Coastal Research*, 2012, N° 28, p. 102-111.
- KAIZUKA, S.; MATSUDA, T.; NOGAMI, M. y YONEKURA, N. Quaternary tectonic and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its Environs, central Chile. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 1973, N° 8, p. 1-50.
- LÓPEZ-GOYBURU, P. Herramientas urbanísticas utilizadas para contener la dispersión urbana. Estrategias de la planificación territorial boloñesa. *Revista Arquitectura y Urbanismo*, 2012, N° 2, p. 57-67.
- MARDONES, M.; ECHEVERRÍA, F. y JARA, C. Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile central sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción. *Revista Investigaciones Geográficas de Chile*, 2004, N° 38, p. 1-25.
- MARDONES, M. y VIDAL, C. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE*, 2001, Vol. 27, N° 81, p. 97-122.
- MARDONES, M. *El sitio Geomorfológico de las ciudades de Concepción y Talcahuano*. Instituto de Antropología, Historia y Geografía, Estudios N°2, Universidad de Concepción, 1978.
- MARTÍNEZ, M.; INTRALAWAN, A.; VÁZQUEZ, G.; PÉREZ-MAQUEO, O.; SUTTON, P. y LANDGRAVE, R. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 2007, N° 63, p. 254- 272.
- MARTINEZ, C. *El Análisis y la Gestión de Riesgos Naturales en ciudades intermedias y localidades pequeñas en Chile*. En: MATURANA, F. y ROJAS, A. (eds.), *Ciudades intermedias en Chile: territorios olvidados*. Santiago de Chile: RIL Editores, 2015, p.105-125.
- MARTINEZ, C. *Evolución costera, procesos morfodinámicos post terremoto y manejo costero en la región del Biobío, Chile*. XXXIV Congreso Nacional y XVIII Internacional de Geografía, Universidad del Biobío, Chillán, 15 al 19 Octubre, 2013, p.4.
- MARTINEZ, C. y BELMONTE, A. *Identificación y análisis de riesgos naturales en la costa de la región del Biobío*. Proyecto análisis de riesgos de desastres y zonificación costera, región del Biobío" Gobierno Regional del Biobío y Centro EULA, U. de Concepción. Cap. 3, Informe Etapa 1 (Inédito), 2012.

MARTÍNEZ, R. Foraminíferos y evolución de la línea de costa Holocénica en la zona de Concepción. En: *El Terciario de Chile. Zona Central*. Santiago de Chile: Sociedad Geológica de Chile-Ed. Andrés Bello, 1968, p. 211-257.

MELNICK, D.; BOOKHAGEN, B.; STRECKER, M. y ECHTLER, H. Segmentation of megathrust rupture zones from fore arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research*, 2009, N° 114, p. B01407.

MUÑIZ, I., y GARCÍA-LÓPEZ, M. Anatomía de la dispersión urbana en Barcelona. *EURE*, 2013, Vol. 39, N° 116, p.189-219.

MUÑIZ, I., GARCÍA, M., y CALATAYUD, D. *Sprawl: Definición, causas y efectos*. Barcelona, España: Ministerio de Fomento España, 2006.

NIEMELA, J.; SAARELA, S.; SÖDERMAN, T.; KOPPEROINEN, L.; YLI-PELKONEN, V.; VAÄRE, S. y KOTZE, D. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity Conservation*, 2010, N° 19, p. 3225-3243.

ONU-HABITAT. *Estado de las ciudades de América Latina y El Caribe. Rumbo a una nueva transición urbana*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. 2012. Disponible en www.unhabitat.org

PENNING DE VRIES, F.; ACQUAY, H.; MOLDEN, D.; SCHERR, S.J.; VALENTIN, C. y COFIE, O. *Integrated Land and Water Management for Food and Environmental Security*. Global Environmental Facility. Comprehensive Assessment Research, Paper Colombo, Sri Lanka. 2003, 74 pp.

PICCOLO, M. y PERILLO, G. *Geomorfología e hidrografía de los estuarios. El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros*, 1997, N°1, p. 133-161.

PINEDA, V. *Evolución paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico superior-Terciario*. Memoria para optar al título de Geólogo. Depto. De Geología y Geofísica, Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1983.

PINEDA, V. *El cañón submarino del Bio-Bío: aspectos dinámicos y ambientales*. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Ambientales. Centro EULA, Universidad de Concepción, 1999.

ROJAS, C.; SEPÚLVEDA, E.; BARBOSA, O.; MARTÍNEZ, C. y ROJAS, O. Patrones de Urbanización y Biodiversidad en Humedales Urbanos en Concepción Metropolitano. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2015, N° 61, p. 181-204.

ROJAS, C.; PINO, J.; BASNOU, C. y VIVANCO, M. Assessing land use and cover changes in relation to geographic factors and urban planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile). Implications for biodiversity conservation. *Applied Geography*, 2013a, N° 39, p. 93-103.

ROJAS, C.; PINO, J. y JAQUE, E. Strategic Environmental Assessment in Latin America: a methodological proposal for Urban Planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile). *Land Use Policy*, 2013b, N° 30, p. 519-527.

ROJAS, C.; MUÑIZ, I. y PINO, J. Understanding the Urban Sprawl in the Mid-Size Latin American Cities Through the Urban Form: Analysis of the Concepcion Metropolitan Area (Chile). *Journal of Geographic Information System*, 2013c, N° 5, p. 222-234.

ROJAS, C.; OPAZO, S. y JAQUE E. Dinámica y Patrones de Crecimiento del Área Metropolitana de Concepción. Tendencias de las últimas décadas. En: HIDALGO, R.; DE MATTOS, C. y ARENAS, F. (eds.), *Del país urbano al país metropolitano*. Santiago: GEOlibros-Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 257-268.

ROJAS, C.; MUÑIZ, I. y PINO, J. *Cartography and Spatial Analysis of Urban Sprawl*. Paper presented at the 24th International Cartographic Conference. Santiago de Chile: Noviembre 15-12, 2009.

ROJAS, O. *Cambios ambientales y dinámica de inundaciones fluviales en una cuenca costera del centro sur de Chile*. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, Mención Sistemas Acuáticos Continentales. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, 2015.

PEREZ, L. y SALINAS, E. Fragmentos de ciudad. Formas de crecimiento del Concepción metropolitano. En: HIDALGO, R.; DE MATTOS, C. y ARENAS, F. (eds.), *Del país urbano al país metropolitano*. Santiago: GEOlibros-Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 269-302.

SMITH, P. y ROMERO, H. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2009, N° 43, p. 81-93.

SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE. *Anuario Hidrográfico de la Marina de Chile*, 1994, N° 46, p. 23-34.

UNCHS. *Cities in a Globalizing World: Global Report on Human Settlements*. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). Londres: Earthscan, 2001.

UNITED NATIONS. *World Urbanization Prospects*. 2014, <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>

VEYL, C. Contribución al conocimiento de la Geología Regional de la provincia de Concepción. *Minerales*, Vol. 16, N° 72, p. 21-71.

VIDAL, C. y ROMERO, H. Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Biobío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En: PÉREZ, L. e HIDALGO, R. (eds.), *Concepción metropolitano (AMC). Planes, procesos y proyectos*. Santiago: Geolibros, Universidad Católica de Chile, 2010, p. 123-149.

WOODROFFE, C. *Coasts: form process and evolution*. Cambridge University Press, 2003.

ZHAO, S.; PENG, C.; JIANG, H.; TIAN, D.; LEI, X. y ZHOU, X. Land use change in Asia and the ecological consequences. *Ecological Research*, 2006, N° 21, p. 890-896.

Notas

¹ Esta investigación ha sido realizada con apoyo de los proyectos CONICYT-FONDECYT N°1151367, N°1150459 y CONICYT-FONDAP 15110020. Se agradece a la Dra. María Mardones sus valiosas sugerencias.

² Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: camartinezr@uc.cl

³ Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción y Centro de Desarrollo Urbano Sustentable CEDEUS. E-mail: crojasq@udec.cl

⁴ Departamento de Planificación Territorial y Sistemas Urbanos, Facultad de Ciencias Ambientales-Centro EULA, Universidad de Concepción. E-Mail: ocrojas@udec.cl

⁵ Departamento Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Email: jquezada@udec.cl

⁶ Programa Magíster en Geografía y Geomática, Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: palopez6@uc.cl

⁷ Programa Magíster en Geografía y Geomática, Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: vanniaruiz@gmail.com