

Vidal, C. y Romero, H. 2010. (En prensas) Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En "Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos. Pérez, L. e Hidalgo, R. (Editores), Serie GEOlibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

EFFECTOS AMBIENTALES DE LA URBANIZACIÓN DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS BÍOBÍO Y ANDALIÉN SOBRE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN

Claudia Vidal¹ y Hugo Romero²

¹Pedagogía Historia y Ciencias Sociales, Universidad San Sebastián, Concepción

²Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Santiago

Resumen

La urbanización de las cuencas es un proceso que afecta rápida y crecientemente a las ciudades chilenas en general y a la de Concepción en particular. La urbanización modifica los componentes del ciclo hidrológico, en especial los volúmenes de agua que escurren o anegan la superficie de los suelos durante la ocurrencia de episodios lluviosos. Se presentan los efectos de la expansión urbana del Gran Concepción sobre algunos componentes de los sistemas hídricos de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién, entre los años 1955 y 2007. Paralelamente, se vinculan dichos cambios con la presencia de riesgos naturales, investigados mediante interpretación de fotografías aéreas, trabajos de terreno y entrevista con informantes clave. Se constata que la superficie de las ciudades asentadas en las cuencas en estudio ha experimentado un acelerado proceso de crecimiento que se traduce en un marcado incremento de las áreas urbanas en desmedro de otros usos y coberturas naturales de los suelos, y en importantes modificaciones en componentes espaciales del ciclo hidrológicos, tales como incrementos en los coeficientes de escorrentía y cambios en la geometría y densidad del drenaje. Finalmente, se observa una mayor extensión e incorporación de nuevas áreas afectas a riesgos de inundación fluvial y anegamientos, que pueden ser directamente relacionados con la urbanización.

Palabras clave: expansión urbana, cambios hidrográficos, desastres naturales.

Keywords: urban sprawl, hydrographic changes, natural hazards

Planteamiento del problema

La urbanización de las cuencas es el proceso por el cual las superficies ocupadas por las ciudades se instalan y crecen sobre paisajes ambientalmente sensibles de los lechos y bordes de los cauces fluviales. Si existiera en el país la planificación y gestión de los espacios urbanos bajo reales conceptos de sustentabilidad, serían resguardados los lechos y bordes de ríos, esteros, canales y humedales, debido a los innumerables bienes y servicios ambientales que ofrecen a la sociedad y para proteger a las poblaciones ribereñas. Buffers riparianos (o amortiguadores ribereños) cubrirían con franjas vegetales las zonas de interfase entre las áreas cubiertas temporal o permanentemente por los cursos de agua y los terrenos emergidos que los rodean y se impediría la ocupación urbana sobre ellas en forma obligatoria y definitiva. Por el contrario, estas zonas deberían ser consideradas como hábitats preferenciales para la recreación de la sociedad, protección de la naturaleza y la biodiversidad, control climático y por sobre todo, destinadas a brindar seguridad a la población frente a las amenazas naturales, tales como inundaciones y anegamientos.

El reconocimiento de que las cuencas constituyen los sistemas territoriales y ambientales más relevantes para la sustentabilidad de las ciudades chilenas (dada la configuración territorial del país, que puede ser definida como una sucesión de cuencas intermontanas en toda su longitud), implica el reconocimiento explícito tanto de los servicios y bienes que brindan a la sociedad, como lo que implican como factores de riesgo natural. La naturaleza mantiene sus estados de equilibrio dinámico desarrollando procesos de resiliencia. Los territorios ocupados por cuencas constituyen sistemas interactivos e integrados que vinculan los cursos superiores con los medios e inferiores de los cursos de agua, las tierras altas con las tierras bajas, los interfluvios con los cauces, y cada uno de sus componentes, tales como clima, suelos, aguas y vegetación.

La planificación territorial se debe hacer en Chile sobre sistemas de cuencas y la sociedad debe comprender y exigir que se respeten los espacios que garanticen la capacidad de resiliencia de los territorios ante las variaciones regulares y azarosas de la naturaleza, así como frente a las incertidumbres que explican y caracterizan su dinamismo. La capacidad de resiliencia territorial significa disponer de los espacios necesarios para soportar adecuadamente eventos extremos, desarrollados en forma natural o debido a perturbaciones antrópicas, tales como lluvias intensas, elevadas temperaturas, erosión de suelos, transporte de sedimentos, etc., sin que se produzcan degradaciones del sistema ambiental. Los esperados procesos de cambio climático deberían exacerbar las fluctuaciones y variabilidades climáticas, exigiendo consideraciones especiales respecto a la localización, tamaño y distribución espacial de las ciudades, los usos del suelo, y particularmente disponer de espacios suficientes para poder soportar las lluvias intensas y el aumento súbito de los escurrimientos o la saturación de los suelos, el ascenso de los mantos freáticos y los anegamientos. También se deberían privilegiar las asignaciones de usos y coberturas de los suelos y los diseños urbanos que aseguren la infiltración profunda de las aguas de lluvia (lo que supone incrementar el factor de intercepción de los follajes vegetales y los lentos escurrimientos fustales mediante los cuales las aguas de lluvia ingresan lentamente y son almacenados en los suelos, cuya capacidad debe ser a su vez mantenida y aumentada, evitando su compactación y pavimentación).

Las funciones y servicios ambientales de las áreas verdes pasan a ser inmediatamente más relevantes que sus significados estéticos. Entre éstos se cuentan en especial el servir como áreas de infiltración profunda y almacenamiento de las aguas de lluvia, y consecuentemente, de control del escurrimiento superficial y de las inundaciones. Se requiere una planificación urbana-territorial que asegure la existencia de los espacios suficientes y necesarios para el cumplimiento de los procesos asociados al ciclo hidrológico (evaporación y evapotranspiración; condensación y precipitación; escurrimiento profundo, subsuperficial y superficial; almacenamiento del agua en los suelos y cuerpos de agua (ríos, esteros, lagos, lagunas, humedales). También se deben asegurar los espacios para el cumplimiento del ciclo de erosión o de los sedimentos, lo que implica la existencia de áreas de degradación o adquisición de sedimentos, vías de transporte y áreas de depositación de los mismos, en cuyo caso, la distribución espacial, longitud, geometría y densidad de los drenes naturales son de fundamental importancia (Romero et al, 2005; Hermelin, 2003)..

De igual modo, la urbanización genera importantes alteraciones en la red de drenaje. Los usos urbanos y la red de transporte, intervienen o en ocasiones reemplazan los cursos naturales de agua, afectando la geometría de la red de drenaje (May, 1998) y reduciendo sistemáticamente la densidad de las misma. Es decir, se superponen redes viales u otros espacios de características altamente impermeables en lugar de redes de drenaje natural, lo que altera seriamente el sistema hídrico en la cuenca, afectando paulatinamente la calidad del cauce (Arnold & Gibbons, 1996). Así también, se observan alteraciones en el trazado de las

redes de drenaje, las cuales en forma natural poseen formas curvas, siendo reemplazadas por un trazado más regular y recto (Stone, 2004).

No se pueden intervenir los cauces fluviales si no se evalúa previamente sus efectos sobre los ciclos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos, especialmente en términos de conservación y protección de los hábitats de vida silvestre. Los ríos, esteros y quebradas constituyen corredores ecológicos por los que transita e interactúa la naturaleza y la biodiversidad. Cualquier alteración de las condiciones físicas, químicas o biológicas de las aguas de los cauces, por ejemplo, tendrá inmediatas repercusiones en los lugares de origen, reproducción, alimentación o reposo de las especies.

No se puede continuar planificando y gestionando el desarrollo de las ciudades al margen de las restricciones y oportunidades brindadas por la naturaleza. Más aún, las propias separaciones entre la sociedad y la naturaleza y los enfoques reduccionistas de las ciencias están siendo fuertemente cuestionadas y asociadas crecientemente a la expresiones del capitalismo (Escobar, 1996 y 1999; Budd, 2009 y 2004; Romero et. al., 2009 y Romero, 2009). Tampoco se puede continuar afirmando la independencia entre los riesgos naturales y las intervenciones humanas, especialmente cuando se refieren a las ciudades, que constituyen los principales nichos ecológicos de la sociedad y que, en consecuencia, reproducen sus características, incluyendo la segregación característica de los medios latinoamericanos. La vulnerabilidad social constituye un elemento fundamental para comprender la transformación de las amenazas naturales en riesgos socionaturales.

El Gran Concepción, constituye un conjunto urbano recurrentemente afectado por desastres de tipo climático. Lo que se explicaría, tanto por las condiciones naturales de su sitio de emplazamiento, como por las modificaciones generadas en su medio ambiente producto de la expansión urbana. El 61 % del área de estudio presenta restricciones desde el punto de vista de los riesgos naturales. Se deben destacar las comunas de Talcahuano y San Pedro de la Paz, las cuales presentan un 79,8% y un 59,6% de sus superficies comunales, respectivamente, expuestas a algún tipo de riesgos (Rojas et al, 2006).

El Gran Concepción, considerado por su peso demográfico, el segundo conglomerado urbano de Chile, experimentó un acelerado ritmo de crecimiento en el periodo 1952-2002, cuando su población pasó de 175.420 a 541.126 habitantes (INE, 2008; INE, 2002). Para el año 2020, se espera una población estimada de 590.564 habitantes (INE, 2006).

La explosión demográfica, unida a su evolución histórica, llevó al conjunto urbano a ensanchar sus límites y a densificar su planta sobre el territorio, alterando con ello el sistema natural, y especialmente los procesos hidrográficos. Si bien el sitio del conjunto urbano ha sido sometido permanentemente a lo largo de su historia a elevadas presiones por la actividad humana, es a contar de la década de 1950 que registra las mayores transformaciones, como consecuencia de los procesos de industrialización y de migración urbano-rural. La expansión espacial del Gran Concepción implicó ocupar sistemáticamente lechos de inundación fluvial, alterar fondos y bordes de cauces fluviales, cambiar la naturaleza y geometría de las redes hidrográficas, rellenar humedales y paleocanales, y alterar significativamente la calidad y cantidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Finalmente, la urbanización de las cuencas ha significado reemplazar usos agrícolas y cubiertas de vegetación de los suelos, por superficies duras, tales como calles y sitios eriazos, que han modificado las tasas de impermeabilización, aumentando la escorrentía superficial y subterránea. Estas transformaciones han provocado una disminución de la infiltración de las

aguas de lluvia y consecuentemente un aumento en el escurrimiento y por lo tanto, un incremento en la capacidad de erosión y transporte de sedimentos, todo lo cual se debería traducirse en un la ocurrencia de inundaciones y anegamientos de mayor magnitud. Para considerar esta hipótesis, en este trabajo se presentan los efectos del crecimiento espacial del Gran Concepción sobre los sistemas hídricos de las cuencas que ocupa la ciudad y su relación con la presencia de inundaciones y anegamientos en el último evento pluviométrico de julio del 2006. Con este fin se estudiaron las asociaciones entre los cambios en los usos y coberturas de suelo, Coeficientes de Escorrentía y geometría y densidad del drenaje.

Metodología

Se realizaron análisis cartográficos y fotointerpretación de fotografías aéreas, verificaciones de terreno y entrevista con informantes clave- La dinámica del crecimiento urbano del Gran Concepción y los cambios de uso y coberturas de suelo según cuencas, se determinaron mediante fotointerpretación digital de fotografías aéreas para los años 1955, 1976 y de una imagen satelital para el año 2007. Las fotografías fueron digitalizadas y georreferenciadas mediante el Software Image Analysis

Paralelamente, el procesamiento digital de imágenes de diferentes años, permitió relacionar los cambios en los usos y coberturas de suelo con los de los , coeficientes de escorrentía (CE) provocados por la urbanización. Para el calculo de los CE se empleó el método desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, el cual fue tomado y adaptado de Chow (1994) y Moscoso (2007). La integración de las tasas de impermeabilización por uso/cobertura de suelo calculadas por Smith (2007), y de las características hídricas del suelo y la precipitación de tormenta (que corresponde a la precipitación máxima registradas en 24 hrs) permitió el cálculo de los coeficientes de escorrentía. La simplificación de las redes de drenaje provocada por la urbanización consideró los cambios en la longitud y densidad de los drenes. Finalmente, para el análisis de las relaciones existentes entre los cambios producidos por la urbanización de cuencas y la ocurrencia de desastres naturales, se cuantificaron los sectores de peligrosidad natural ocupados por la expansión urbana en los años estudiados. Paralelamente, se zonificaron y categorizaron las áreas afectadas por el evento pluviométrico del 2006 y se compararon con la carta de peligrosidad elaborada por Mardones (2005).

Resultados

Evolución de la superficie urbana del Gran Concepción 1955 – 2007.

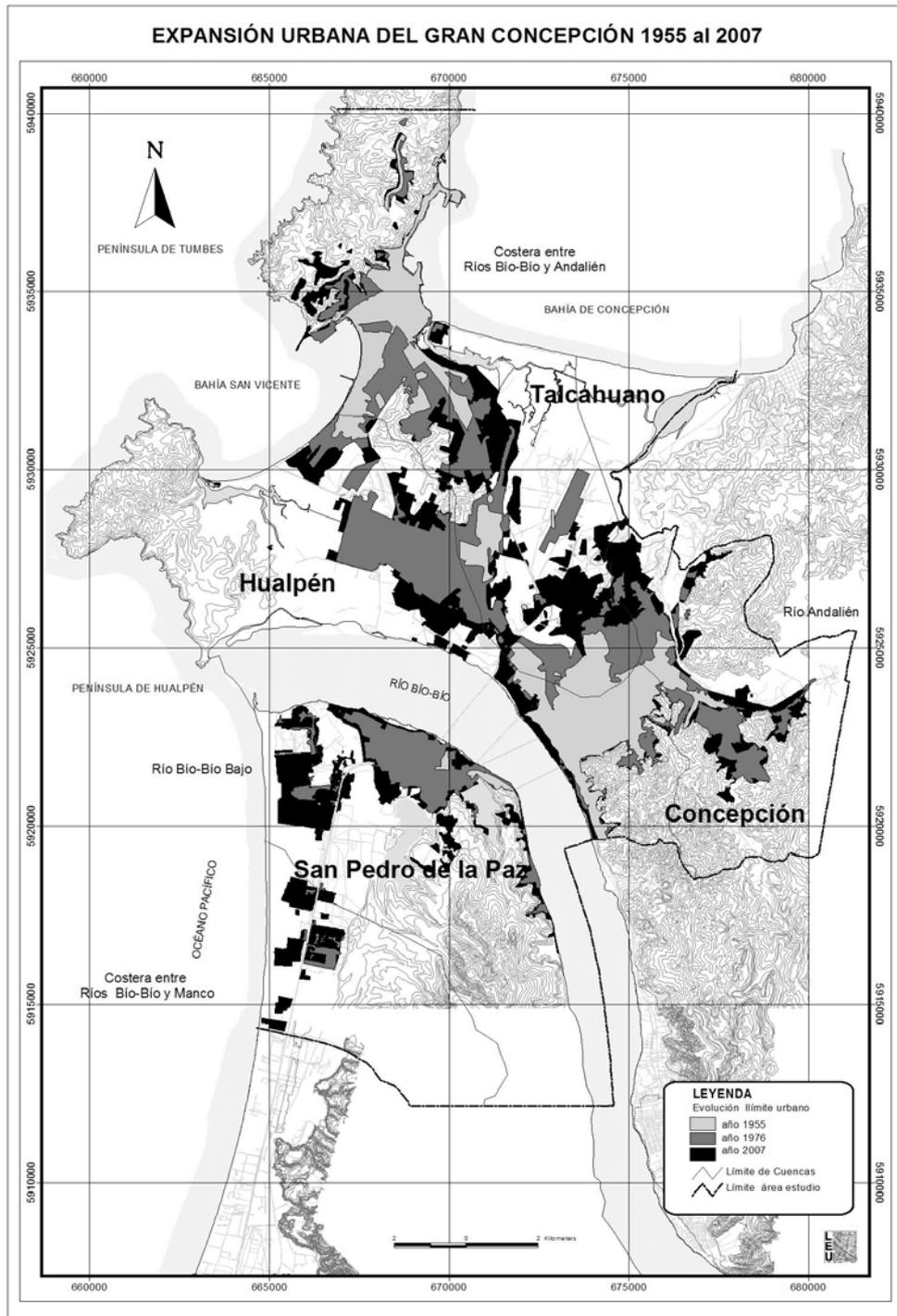
El Gran Concepción ha experimentado un acelerado proceso de crecimiento de las áreas urbanas. En el periodo estudiado la superficie urbanizada se incrementó en 5.998 hás., presentando un aumento cercano a un 300%, siendo más intenso entre 1955 y 1976. En el periodo siguiente si bien se mantiene el alza, el ritmo de crecimiento se desaceleró

La expansión urbana presenta marcados patrones espacio temporales. Entre 1955- 1976 se observó un claro crecimiento por acreción de nuevas áreas sobre los bordes de la ciudad; posteriormente éste se registró a través de vías de comunicación, de tipo “tentacular” en forma de “estrella” (Pérez & Salinas, 2007). La ciudad creció siguiendo las vías de comunicación que la unen con sus centros poblados vecinos, consolidándose la conurbación del conjunto urbano. Esta expansión no se presenta de forma homogénea a modo de mancha de aceite, sino por el contrario se observa gran heterogeneidad en su interior, con el

surgimiento de islas urbanas. (Romero et al 2007, Mardones, 2001 y Pérez & Salinas, 2007) (figura 1)

Al analizar el crecimiento urbano por cuencas, se observan procesos representativos de lo que ocurre en todo el Gran Concepción donde los humedales, riberas y lechos de ríos son intensamente urbanizados. La cuenca del Andalién es la que concentra el mayor porcentaje de crecimiento, incrementando su superficie urbanizada cerca de un 700% entre 1955 y 2007.

Figura n°1 Expansión urbana del Gran Concepción 1955-2007



La expansión física de la superficie urbana se traduce en un marcado incremento de usos residenciales en desmedro de los usos y coberturas naturales. En términos globales se constata para todas las cuencas una sostenida disminución tanto de la vegetación densa y dispersa, como de los humedales y cauces fluviales, siendo todos ellos reemplazados predominantemente por usos residenciales de alta y baja densidad, industriales o viales. Efectivamente, en todo el periodo estudiado las superficies naturales presentan una reducción de un 55%, siendo los humedales las áreas que experimentan el mayor porcentaje de reducción respecto de su situación original, con un 84%. Lo contrario ocurre con espacios abiertos con nula o poca vegetación, que incrementan su superficie en un 10%.

En cuanto a las superficies urbanas, se constata un crecimiento neto de 340% o 6.761,6 hectáreas respecto de su situación original. De ellas, las coberturas que experimentan un mayor aumento son los usos industriales (521%), residenciales de alta densidad (518%) y sitios eriazos (515%).

Las zonas residenciales de alta densidad registran un acelerado proceso de incremento (69%) entre los años 1976 y 2007, coincidiendo con la desaceleración del crecimiento experimentado por zonas residenciales de baja densidad. Por último, el importante aumento experimentado por los sitios eriazos se vincula con procesos de especulación al interior del radio urbano.

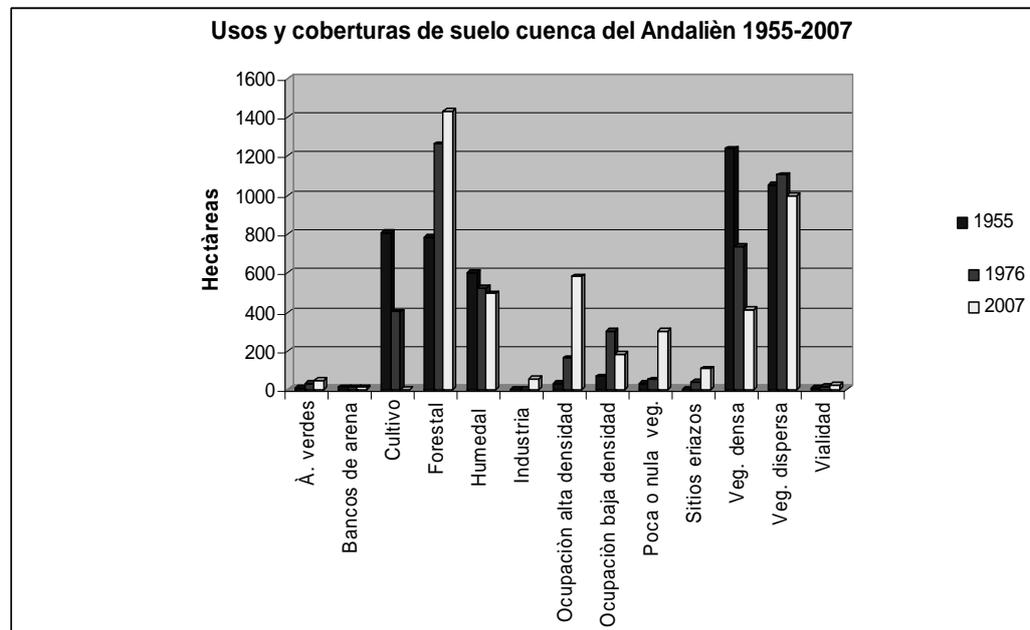
A nivel de cuencas destaca la del río Andalién, que ha experimentado un acelerado y sostenido crecimiento de las áreas residenciales de alta y baja densidad, concentrándose predominantemente en el último periodo (figura 2). Dicha expansión urbana se ha realizado, principalmente, sobre áreas de vegetación densa, zonas agrícolas y antiguos lechos de ríos, modificando y alterando su trazado, especialmente al sur de la cuenca. La vegetación densa disminuyó un 66% (822,6 hectáreas) y la dispersa un 5,4% (58 hectáreas). En tanto, la expansión urbana del Gran Concepción entre los años 1955 y 1976 significó la pérdida de 1.200 has.

Por último, se observa un aumento de espacios abiertos con poca o nula vegetación asociados principalmente a la extracción de material arcilloso para la elaboración de ladrillos, actividad que se efectúa en las laderas del Valle Nonguén y en el sector Palomares, al sur de la cuenca. Esta cobertura ha incrementado su superficie en 268 has., concentrando el 92% (247,1 has.) del aumento entre los años 1976 y 2007. Eso se ha efectuado en reemplazo de vegetación densa, situación que genera intensos procesos de erosión en las laderas de la cuenca (Jaque, 1994) y que contribuiría a potenciar la ocurrencia de inundaciones fluviales. De acuerdo a lo planteado por Mardones & Vidal (2001) "...la cobertura vegetal es un factor que regula el régimen hidrológico, sea controlando la infiltración y el escurrimiento superficial de aguas-lluvia, sea protegiendo el suelo contra la erosión. La falta de cobertura aumenta la escorrentía superficial, intensifica la erosión del suelo y los sedimentos erosionados pasan a formar parte del flujo fluvial. Mientras mayor sea la carga sólida de un río, mayor será el riesgo de crecida con el mismo monto de precipitaciones, ya que los sedimentos tienden a elevar el fondo de los lechos y con ello el espejo de agua del curso." (pp 14)

El aumento de las superficies construidas ha causado la impermeabilización de las tierras de las cuencas. De acuerdo con Smith, (2007), los usos residenciales de alta y baja densidad poseen tasas de impermeabilización que fluctúan entre 37 y 75%, en tanto los terrenos que presentan remanentes de vegetación densa y dispersa no superan el 5% de impermeabilización. Esto indica un cambio importante en las condiciones ambientales de la

cuenca, aumentando con ello los coeficientes de escorrentía y por ende la probabilidad de ocurrencia de riesgos de anegamientos e inundación.

Figura n° 2 Evolución usos y coberturas de suelo en la Cuenca del Andalién 1955-2007



Fuente: Elaboración propia

Efectos de la urbanización en los coeficientes de escorrentía de las cuencas del Gran Concepción 1955- 2007

Los coeficientes de escorrentía (CE) de las cuencas del Gran Concepción presentan un incremento sostenido entre un 72 y un 31% entre los años 1955 y el 2007, lo que se explica por el proceso de urbanización y la mayor presencia de usos y coberturas de suelo impermeables. Las cuencas con mayores CE, Andalién - Bío Bío y Bío Bío bajo, presentan entre el 38 y 30% de su superficie total ocupada por coberturas altamente impermeables, tales como: vialidad, puertos, zonas de alta densidad residencial e industrias y grandes construcciones. De acuerdo con Smith, (2007) dichos usos presentan tasas de impermeabilización que fluctúan entre 100% a 59%.

Las superficies impermeables mencionadas reemplazan a sectores de vegetación natural y humedales.

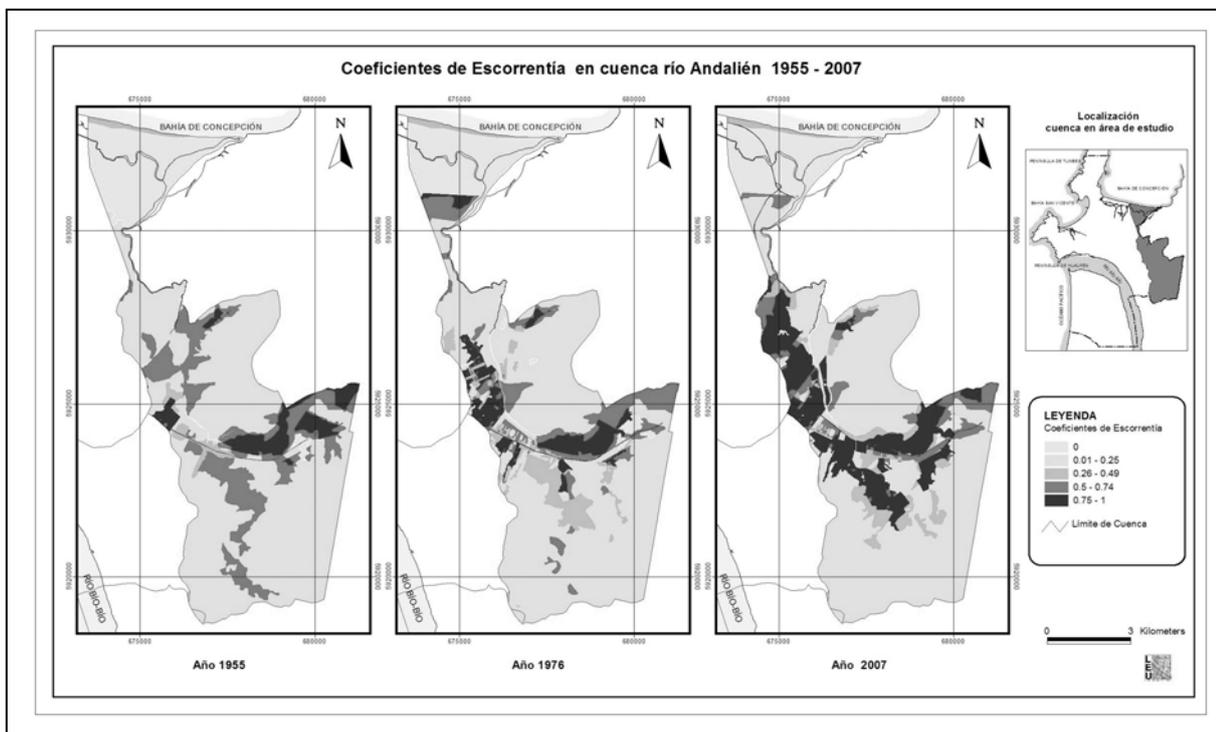
El aumento de dicho indicador significa que se favorece el escurrimiento sobre la infiltración de las aguas, por tanto la escorrentía real aumenta y el almacenamiento máximo potencial de agua en el suelo disminuye.

El Coeficiente de escorrentía (CE) de la cuenca del Andalién presenta un incremento de un 72% de incremento respecto de su situación original. Ello implica una disminución de su capacidad potencial de almacenamiento de agua lluvia (S) en 96 mm, indicador que repercute directamente en la presencia de inundaciones y anegamientos, ya que al aumentar las superficies impermeables se reduce la infiltración y la capacidad de almacenamiento (S), y

por ende se incrementa el volumen de agua que escurre hacia los cauces y a niveles más bajos de la cuenca. Dicha situación es especialmente sensible al sur de la cuenca, en sector Collao, donde junto a la impermeabilización por incremento de la urbanización, se debe agregar la expansión residencial en laderas con pendientes entre los 15° y 30°, junto a la presencia de actividades productivas extractivas (canteras) entre los 30 y los 45° e pendiente, lo que contribuye a incrementar los procesos erosivos. (figura 3) Esto junto con incrementar la cantidad de agua que escurre, aceleraría su velocidad, afectando con mayor intensidad a sectores aledaños de menor pendiente (0 a 15°). Todo lo cual podría contribuir a potenciar la ocurrencia de inundaciones fluviales y anegamientos.

A lo anterior, se suma la expansión urbana sobre antiguos lechos de ríos modificando y alterando su trazado, ello ocurre al sur de la cuenca. Esta situación contribuye a incrementar las tasas de impermeabilización y por ende de escorrentía. De acuerdo con Smith, 2007, los usos residenciales de alta y baja densidad poseen una tasa de impermeabilización (TI) que fluctúa entre 37 y 75%, en tanto que los cursos de agua poseen una TI de 0%.

Figura 3 Evolución de Coeficientes de escorrentía cuenca de Andalién 1955-2007



Fuente: Elaboración propia

Impactos del proceso de urbanización sobre la red de drenaje.

En relación a la red de drenaje, se constató que el proceso de urbanización del Gran Concepción ha generado importantes alteraciones en las cuencas estudiadas, principalmente entre 1976 y el año 2007. Así, la extensión de la superficie urbana, con fines habitacionales e industriales y la construcción de vías de comunicación ha provocado pérdidas en la densidad, longitud y sinuosidad de los cursos de agua naturales. También es responsable de cambios en el trazado, de la ocupación de cauces de río y la artificialización de drenes mediante su

canalización. Esto estaría en concordancia con lo planteado por May (1998); Arnold & Gibbons (1996) y Stone (2004). Los usos urbanos y la de red transporte, intervienen y en ocasiones reemplazan los cursos naturales de agua, afectando la geometría de la red de drenaje. Así, se superponen redes viales u otros espacios de características altamente impermeables en lugar de redes de drenaje natural, lo que altera seriamente el sistema hídrico de la cuenca, incrementando el escurrimiento superficial del agua. De igual modo se observan alteraciones en el trazado de las redes de drenaje, las cuales poseen formas curvas siendo reemplazadas por un trazado más regular y recto, esto como consecuencia de la construcción de redes viales. (May,1998)

De las cuencas estudiadas es la del río Andalién la que presenta las mayores alteraciones, con un 64% de disminución en su densidad y longitud, en los últimos 31 años, perdiendo un total de 10,067 km de largo y pasando de una densidad de 0,94 km² a 0,73 km².

Esto se explica por alteraciones generadas por la urbanización. Tales como: pérdidas en la densidad, longitud y sinuosidad de los cursos de agua naturales, obstrucción del drenaje por la construcción de caminos, relleno del lecho del río y de terrazas de inundación e incluso estrechamiento y cambio del curso del drenaje, con la finalidad de ser destinados a usos habitacionales o la construcción de vialidad y puentes, los cuales obstruyen el drenaje del cauce, potenciando la ocurrencia de desbordes en sectores aledaños.

De los dos drenes existentes en la cuenca, es el Río Andalién el que registra las mayores reducciones, absorbiendo el 99% y el 1000% de la pérdida de longitud y de densidad experimentada por toda la cuenca, perdiendo un total de 10 km de largo, en todo el periodo estudiado.

Por el contrario, el estero Nonguén no presenta mayores alteraciones desde el punto de vista de su geometría, salvo pérdidas en la sinuosidad de su trazado.

En síntesis, la expansión urbana ha implicado ocupar históricamente lechos de inundación fluvial, alterar trazado, geometría y densidad de las redes hidrográficas junto a la intensificación de barreras que impiden el normal flujo del río. Todo ello se traduce en una intensificación de procesos de inundación.

Expansión urbana y riesgos naturales

Expansión urbana y peligrosidad natural¹

¹ La peligrosidad o amenaza para los efectos de esta investigación será entendida como un fenómeno natural, cuya dinámica puede desbordar sus umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo ocasionar daños a las personas y a sus bienes (Ayala-Carcedo, 1993).

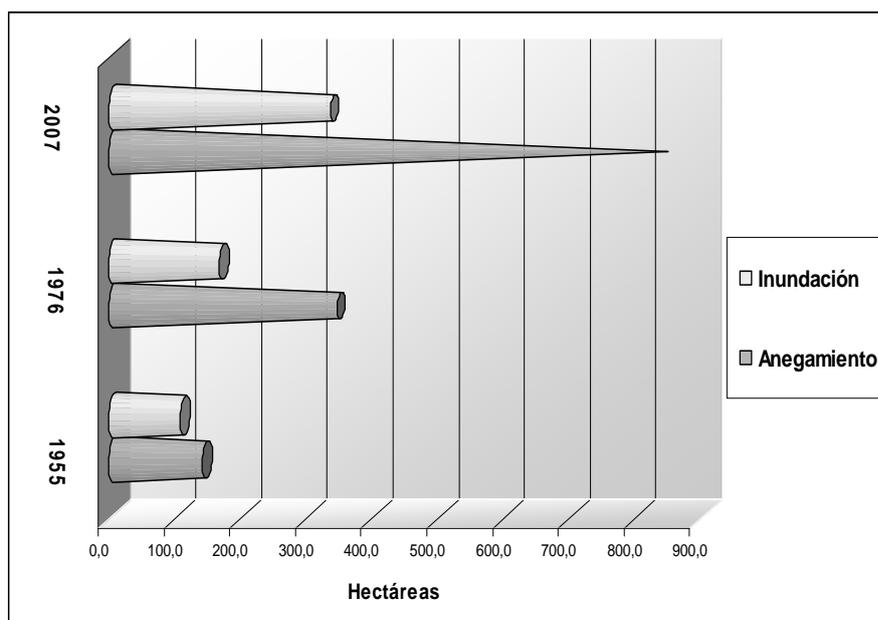
La acelerada expansión urbana experimentada por el Gran Concepción entre los años 1955 y 2007 ha llevado a la ciudad a densificar su planta hacia áreas que ofrecen pocas condiciones para la habitabilidad y expuestas a variados tipos de riesgos naturales.

Ello se constata al comparar las zonas de peligrosidad natural² (Mardones, 1995) con la expansión urbana verificada durante la segunda mitad del siglo XX (figura 4).

A partir de la figura 4 se observa un sostenido incremento en la ocupación de áreas de peligrosidad natural producto de la urbanización. La superficie de peligrosidad ocupada por el Gran Concepción pasa de 248,8 hás. en el año 1955 a 1.176,2 hás. en el año 2007, experimentando un incremento de un 373%. Generándose entre los años 1976 y 2007 el 72% del crecimiento de áreas con amenaza natural ocupadas.

En cuanto al tipo de amenaza son los sectores expuestos a anegamiento los que han sido más intensamente ocupados por la expansión urbana, absorbiendo el 76% (700 hás.) del total del crecimiento de la superficie de peligrosidad ocupada por la urbanización y sin duda el

Figura n° 4 Superficie (hás) de peligrosidad natural ocupada por expansión urbana 1955-2007



Fuente: Elaboración propia

Riesgo natural la ONU lo define como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado, de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes. Específicamente, lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad en tanto por uno y la exposición. (Ayala-Carcedo, 1993).

Expansión urbana y peligrosidad natural por cuencas

Los resultados constatan que las cuatro cuencas estudiadas, han experimentado un acelerado y sostenido crecimiento de la superficie de peligrosidad natural ocupada por la expansión urbana. No obstante ello, es la cuenca del río Andalién la que alcanza el mayor incremento y ocupación con un 2.145% (185,8 há.). El 69% del crecimiento corresponde a ocupación de zonas con amenaza de anegamiento por áreas de expansión residencial de alta y baja densidad. Concentrándose espacialmente, al sur de la cuenca sobre terrazas de inundación del río Andalién y estero Nonguén.

Expansión y Riesgos: evento pluviométrico Julio del 2006.

El último evento pluviométrico de Julio del 2006, constituye un ejemplo a analizar dado que su origen se relaciona y explica, tanto por procesos naturales como por cambios ambientales provocados por la expansión urbana .

A partir de la figura 5 se constatan los sectores afectados por el evento pluviométrico del año 2006, observándose que todas las cuencas estudiadas se ven afectadas por el evento, presentando diferencias en cuanto a porcentaje de superficie y tipo de desastre.

En términos globales se confirman las áreas de peligrosidad natural definidas previamente por Mardones et al (1995). No obstante, se constata una mayor extensión e incorporación de nuevas áreas con riesgo de inundación fluvial y anegamiento, en sectores donde por condiciones naturales no existían, de igual modo se incorporan áreas que ahora son impactados por inundaciones y anegamientos simultáneamente.

Ello se explica por la expansión urbana y las alteraciones generadas tanto en la red de drenaje, como en el incremento de los coeficientes de escorrentía, dado por el reemplazo de coberturas naturales por zonas de alta densidad y actividades productivas. Dichos reemplazos fueron generados en el lecho del río, en la terraza de inundación fluvial y en las laderas de las cuencas.

Entre las cuencas destaca la del río Andalién siendo afectada un 30% de su superficie por el evento pluviométrico. Identificándose sectores afectados por inundaciones³, anegamientos⁴ y procesos mixtos (anegamiento e inundación simultáneamente)

Las inundaciones fueron provocadas tanto por desbordes de drenes naturales tales como: río Andalién, esteros Nonguén y Palomares, como por rebalse de cursos artificiales (colectores de aguas lluvias, sistema de alcantarillado y drenes canalizados).

La presencia de inundaciones en el sector se explica tanto por procesos naturales como por intervenciones antropicas. Dentro de los primeros, Mardones et al, 1995 distingue: topografía

³ Por inundación fluvial se entiende, la invasión de un territorio por el escurrimento descontrolado de un flujo fluvial, debido a una crecida. Las aguas desbordan de su cauce habitual, invaden el lecho mayor del río o las llanuras de inundación y terrazas inferiores, paleocauces, etc., lugar donde decantan los aluviones generalmente finos. Presentan dos orígenes: desbordes de cursos naturales (ríos o esteros) y rebalse de cursos artificiales (canales, sistemas de alcantarillado). (Mardones& Vidal, 2001)

⁴ Anegamiento es la acumulación de un volumen de agua/lluvia sobre la superficie del suelo. Este peligro está en relación directa con la intensidad de lluvia diaria y con la incapacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de las lluvias. (Mardones& Vidal, 2001)

y morfometría de pendientes, características geomorfológicas y sedimentológicas del entorno del lecho que sufre la crecida, y factores externos, como intensidad de lluvia y estado de la vegetación de la cuenca de drenaje, entre otras.

En cuanto a la topografía se trata de áreas ribereñas cuya altitud es inferior a 8 m.s.n.m, asentadas sobre la llanura de inundación del estero Nonguén y río Andalién.

En relación a las condiciones climáticas, la intensidad diaria de las lluvias locales y a nivel de la cuenca, es uno de los detonantes de las inundaciones. Se estima que en el área de estudio las inundaciones se relacionan principalmente con ciclos de tres días de lluvia consecutiva y umbrales de intensidad semejantes a los calculados para los anegamientos (>140mm en 72 horas), para caudales peak con periodos de retorno de 5 años (Aros et al, 1995). Esto es especialmente importante si consideramos que la cuenca redujo en 96 mm su capacidad potencial de almacenamiento de agua lluvia (S) producto de la urbanización en los últimos 52 años (1955-2007). Por tanto, dicho indicador repercute directamente en la presencia de inundaciones y anegamientos, ya que al aumentar las superficies impermeables se reduce la infiltración y la capacidad de almacenamiento (S), y por ende aumenta el escurrimiento del agua precipitada.

Junto a las condiciones de peligrosidad natural del sitio, las intervenciones antropicas ligadas a la expansión urbana han contribuido a agudizar el proceso e incrementar las zonas afectadas. Entre ellas podemos mencionar: incremento de Coeficientes de escorrentía por el reemplazo de coberturas naturales por zonas de alta densidad urbana, presencia de carreteras que junto con impermeabilizar actúan como dique bloqueando el flujo, alteraciones en la geometría y densidad del drenaje y rebalse de cursos artificiales (colectores de aguas lluvias y sistema de alcantarillado).

La urbanización sobre la terraza de inundación del río Andalién, riberas del estero Nonguén y laderas de la cuenca, genero un incremento en la impermeabilización y en los coeficientes de escorrentía superficial (CE). Concretamente la cuenca incremento en un 76% su CE entre los años 1955 y 2007. Esto genera una reducción en la cantidad de agua infiltrada y aumento en la velocidad y cantidad de agua que escurre hacia el caudal del río potenciando los desbordes y anegamientos en los sectores de menor pendiente.

Al respecto Mardones et al (2005) agrega que uno de los factores de riesgos que contribuyen a acelerar los procesos de anegamiento e inundación en la cuenca del estero Nonguén, es la rápida descarga fluvial (peak de descarga de 2 hrs) que presenta el dren. Dicha situación se relaciona estrechamente con la duración e intensidad de la tormenta y el tamaño de la cuenca. De igual modo, indica que dada la carencia de estudios relativos a rellenos artificiales (impermeabilización por cambio de cobertura de suelo) en la parte baja de la cuenca, no se puede atribuir la magnitud y velocidad de la descarga sólo a factores naturales. Carencia que el presente estudio contribuye a solucionar.

A ello se agrega lo indicado por Stone, 2004 la inserción de la trama urbana, modifica la geometría de las redes de drenaje, entre ellas: alterando las formas naturales de los drenes, generando formas rectas, cambiando su trazado e incluso acortándolos o eliminándolos. Esto se refleja en los tiempos de respuesta para una tormenta (Henríquez, 2005) donde los peaks de descarga son mayores en las áreas artificializadas.

De tal forma se puede concluir que el incremento del coeficiente de escorrentía experimentado por la cuenca contribuye a aumentar la rapidez de descarga fluvial y con ello acelerar e intensificar los procesos de anegamiento e inundación.

A lo anterior, se une la deforestación de las laderas del valle alto del Estero Nonguén.

La cobertura vegetal es un factor que regula el régimen hidrológico, sea controlando la infiltración y el escurrimiento superficial de aguas- lluvia, sea protegiendo el suelo contra la erosión. La carencia de cobertura incrementa la escorrentía superficial, intensifica la erosión del suelo y los sedimentos erosionados pasan a formar parte del flujo fluvial. Mientras mayor sea la carga sólida de un río, mayor será el riesgo de crecida con el mismo monto de precipitaciones, dado que los sedimentos tienden a elevar el fondo de los lechos y con ello el espejo de agua del curso. En el río Andalién, se ha constatado especialmente en la segunda mitad del s. XX un aumento notable del transporte de sólidos (Jaque, 1996). Este último, asienta su cabecera en una de las comunas más afectadas por erosión en manto y cárcava de nuestro país: la comuna de Florida. A esto se agrega la falta de mantención y limpieza del lecho, lo que contribuyó a aumentar el caudal y a su vez dificultar la desembocadura del flujo del estero Nonguén hacia el río Andalién. (Mardones & Vidal, 2001).

En sector Palomares, la urbanización e impermeabilización de las laderas junto a la presencia de actividades productivas ligadas a la extracción de arcillas contribuyó a intensificar la gravedad de los desbordes, dada la cantidad de material arrastrado.

Durante el evento, la presencia de gran cantidad de material arcilloso impidió la accesibilidad al sector.

A lo anterior se agregan los cambios en la geometría y densidad del drenaje en el río Andalién, junto a la impermeabilización, generados por la ocupación residencial y la presencia de infraestructura vial sobre su terraza de inundación y lecho del río, los que jugaron un rol fundamental. Concretamente, se constató un aumento de los sectores inundados por el río, respecto a los sectores de peligrosidad definidos por Mardones, (1995). Así, dicho dren, durante el evento, recobró su antiguo trazado, el que antiguamente corría paralelo a la actual carretera.

Al norte de la cuenca, la infraestructura vial también juega un rol importante en los desborde, al impermeabilizar y obstruir el drenaje. De igual modo vialidad (puente las Ballenas) contribuyó a incrementar desbordes en sectores aledaños, dado que al estrechar su cauce impidió el normal flujo del curso de agua.

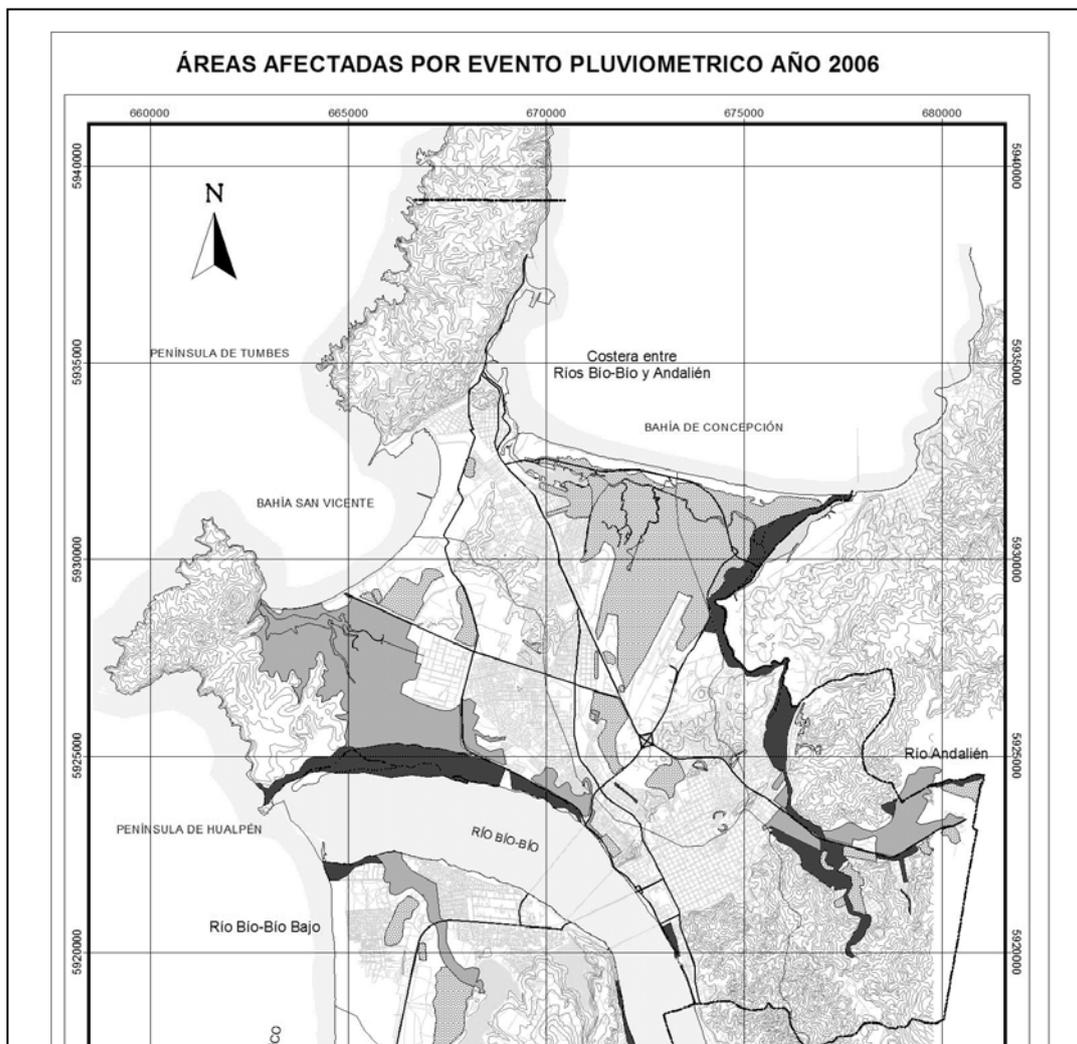
Por último, los desbordes de cursos artificiales, incrementaron los sectores afectados por inundación. Su colapso se explica por la insuficiencia en la capacidad de colectores de aguas lluvias, y sistema de alcantarillado ya sea por la estrechez de sus ductos, por tratarse de canalizaciones antiguas que necesitan ser adecuadas a las nuevas demandas, como por falta de mantención y limpieza, lo que facilitó su obstrucción con basuras o ramas.

Junto a las inundaciones, la cuenca del Andalién se vio afectada por anegamientos. Estos sectores si bien presentan peligrosidad dadas sus características naturales⁵, las intervenciones

⁵De acuerdo con Mardones & Vidal (2001) los anegamientos se generan en sectores con suelo y subsuelo con presencia de sedimentos impermeables y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas las características pluviométricas (intensidades de precipitación diaria superior a 80mm y acumulación de lluvia en 3 días consecutivos superior a 140mm).

generadas por el proceso de urbanización intensificaron el proceso, principalmente por la impermeabilización del suelo que dificulta la infiltración y favorece la acumulación de agua lluvias, y posiblemente retarda el tiempo de infiltración y el incremento de la escorrentía.

Figura n°5 Áreas afectadas por evento pluviométrico 2006



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Del análisis precedente se concluye que la superficie urbana de las ciudades asentadas en las cuencas en estudio han experimentado un acelerado proceso de crecimiento, en todo el periodo estudiado, siendo más intenso entre 1955 y 1976. En el periodo siguiente si bien se mantiene el alza, el ritmo de crecimiento se desacelera. De las cuencas estudiadas es la cuenca del Andalién la que presenta el mayor porcentaje de crecimiento respecto de su situación original.

Esta expansión física se traduce en un marcado incremento de las superficies urbanas en desmedro de los usos y coberturas naturales. En términos globales se constata para todas las cuencas una sostenida disminución tanto de superficies de coberturas de vegetación densa y dispersa, como de humedales, siendo reemplazados predominantemente por usos residenciales de alta y baja densidad y áreas industriales.

En cuanto a los coeficientes de escorrentía (CE) se observa un aumento de dicho indicador en el área estudiada, los que se incrementan entre un 72 y un 31%. Esto se debe al proceso de urbanización y la mayor presencia de usos y coberturas de suelo impermeables. Así las cuencas con mayores indicadores de CE, presentan entre el 38 y 30% de su superficie total ocupada por coberturas altamente impermeables, tales como: vialidad, puertos, zonas de alta

densidad residencial e industrias y grandes construcciones. De acuerdo con Smith, (2007) dichos usos presentan tasas de impermeabilización que fluctúan entre 100% a 59%. Las superficies impermeables mencionadas reemplazan a sectores de vegetación natural y humedales.

La cuenca del Andalién es la que presenta las mayores modificaciones, con un 72% de incremento respecto de su situación original. Paralelamente, se observa una disminución de su capacidad potencial de almacenamiento de agua lluvia (S) indicador que repercute directamente en la presencia de inundaciones y anegamiento, ya que con ello se incrementa el volumen de agua que escurre hacia los cauces y a niveles más bajos de la cuenca.

Por tanto, en el estudio se confirma que el proceso de expansión urbana y los cambios en los usos y coberturas de suelo asociados, han aumentado la escorrentía superficial y con ello los volúmenes de agua que descienden por las laderas hacia los cauces.

En relación a la red de drenaje, se constató que el proceso de urbanización del Gran Concepción ha generado importantes alteraciones en las cuencas estudiadas, principalmente entre 1976 y el año 2007. Así, la extensión de la superficie urbana, con fines habitacionales e industriales y la construcción de vías de comunicación ha provocado pérdidas en la densidad, longitud y sinuosidad de los cursos de agua naturales. También es responsable de cambios en el trazado, de ocupación de los cauces de río y artificialización de drenes mediante su canalización. Esto estaría en concordancia con lo planteado por May (1998); Arnold & Gibbons (1996) y Stone (2004). Los usos urbanos y la de red transporte, intervienen y en ocasiones reemplazan los cursos naturales de agua afectando la geometría de la red de drenaje. Así, se superponen redes viales u otros espacios de características altamente impermeables en lugar de redes de drenaje natural, lo que altera seriamente el sistema hídrico en la cuenca, incrementando el escurrimiento superficial del agua. De igual modo se observan alteraciones en el trazado de las redes de drenaje, las cuales poseen formas curvas siendo reemplazadas por un trazado más regular y recto, esto como consecuencia de la construcción de redes viales. (May,1998)

En cuanto a la expansión urbana y riesgos naturales se concluye que el sitio de emplazamiento de Gran Concepción presenta una compleja concurrencia de riesgos naturales, dada sus características climáticas, geomorfológicas e hidrográficas. A ella se agregan los factores antrópicos, los que incrementan e intensifican los riesgos como consecuencia de una urbanización que ignora las características de las cuencas y la capacidad de acogida del territorio. En vastos sectores de la ciudad se urbaniza sin considerar las características del soporte físico, en la asignación de usos y la forma como interactúan con el sitio natural en que se hallan instaladas y que ocuparán crecientemente como consecuencia de su expansión futura. (Mc Harg, 2000)

Efectivamente al comparar las zonas de peligrosidad con los procesos urbanos verificados en la segunda mitad del siglo XX se observa un sostenido incremento en la ocupación de áreas de peligrosidad natural producto de la expansión urbana. La superficie de peligrosidad ocupada por el Gran Concepción pasa de 248,8 hás. en el año 1955 a 1.176,2 hás. en el año 2007, experimentando un incremento de un 373%. Sin duda, el crecimiento futuro de la ciudad continuará esta misma tendencia, puesto que las zonas no expuestas a peligros naturales ya están densamente pobladas.

En relación al evento pluviométrico que afectó al Gran Concepción en julio del 2006, se concluye que fue ambientalmente significativo, ya que junto con generar efectos desastrosos en la población y en la infraestructura, permitió constatar los sectores vulnerables a los riesgos de anegamiento e inundación.

En cuanto a los sectores afectados por inundación y anegamiento, en términos globales, todas las cuencas se vieron afectadas por el evento pluviométrico, confirmándose las áreas de peligrosidad natural definidas previamente por Mardones et al (1995). No obstante, se constata una mayor extensión e incorporación de nuevas áreas con riesgo de inundación fluvial, anegamiento y riesgo mixto (con presencia de ambos eventos), en sectores donde por condiciones naturales no existían. Ello se explica por la expansión urbana y las alteraciones generadas tanto en la red de drenaje, como en el incremento de los coeficientes de escorrentía, dado por el reemplazo de coberturas naturales por zonas de alta densidad y actividades productivas. Dichos reemplazos fueron generados en el lecho del río, en la terraza de inundación fluvial y en las laderas de la cuenca.

En síntesis, se constató que los efectos de la urbanización sobre el sistema hídrico a través de cambios en la geometría y densidad del drenaje e incrementos en los coeficientes de escorrentía, contribuyen a intensificar las condiciones naturales de riesgo, esto queda de manifiesto en el evento pluviométrico de julio del 2006.

Por último, se plantea la necesidad que en la normativa urbana se incorporen las características locales, dado que la dinámica natural siempre estará presente en el sitio urbano del Gran Concepción y en la medida que se tome conciencia de ello, por parte de la población y las autoridades se contribuirá a un buen manejo de la urbanización en cuencas y finalmente a la prevención de riesgos.

Finalmente, se espera que estos resultados orienten la formulación de una planificación y gestión ambiental de las ciudades que considere la cuenca ambiental como marco de referencia explícito y que contribuya a tomar conciencia por parte de las autoridades acerca de la presencia de una dinámica natural que estará siempre presente en el sitio urbano del Gran Concepción. Por último, se espera que los métodos aquí empleados estimulen investigaciones similares en otras ciudades del país.

Bibliografía

ARNOLD & GIBBONS (1996) *Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator*. Elsevier, Journal of the American Planning Association N°62, pág. 241-258.

AYALA-CARCEDO, F. (1993). Estrategias para la reducción de desastres naturales. En: *Investigación y Ciencia* 200, p. 6-13.

Budds, J. (2004), Power, Nature and Neoliberalism. The political ecology of water in Chile. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25 (3), 2004, 332-342.

Budds, J. (2009), Contested H₂O: Science, policy and politics in water management in Chile. *Geoforum* 40 (2009) 418-430.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D. y MAYS, L. (1994) *Hidrología Aplicada*. Santa Fe de Bogotá, McGraw-Hill Interamericana, S.A.

ESCOBAR, A. (1996) Construction Nature. Elements for a post-structuralist Political Ecology. *Futures*, Vol.28,Nº4, 325-343.

ESCOBAR, A. (1999). After Nature. Steps for an Antiessentialist Political Ecology. *Current Anthropology*, Vol.40, Nº1: 1-30.

GUHA- SAPIR et al, (2004) *Thirty Years of Natural Disasters 1974-2003: the Numbers*, CRED/UCL Presses.

HERMELIN, M. (2003) *Urbanismo y naturaleza en América Latina: Un matrimonio Indisoluble*, Boletín del Instituto de la Vivienda, Vol.18, Nº47, Universidad de Chile.

INE, (2002) Censo de población y vivienda año 2002.

INE, (2006) División político administrativa y censal. Santiago Chile. Marzo.

INE, (2008) Población de los centros poblados de Chile 1875-1992. Santiago Chile.

JAQUE, E. (1994) Problemas ambientales en un área de expansión urbana en la cuenca del estero Nonguén. Concepción, Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, Nº39.p. 65-78.

MARDONES, M. et al, (1995). *Zonificación y evaluación de riesgos naturales, en el área metropolitana de Concepción*. Informe Final Fondecyt 92-0251.

MARDONES, (2001). *Colección Geografía de Chile. Geografía de la VIII Región del Bío Bío*. Editado por Instituto Geográfico Militar. Santiago Chile.

MARDONES, M. y VIDAL, C (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. En: *Revista EURE Nº81*. Vol. XXVII. Septiembre 2001. Santiago Chile. p.97-122.

MARDONES, M. et al, (2005). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción. En: *Revista Investigaciones Geográficas Chile*, 38. p. 1-25.

MAY C, HORNER R, KARR J, MAR B, WELCH, E. (1998) Effects of urbanization on small streams in the Puget sound ecoreion. Watershed protection techniques, University of Washington, Seattle, Washington.

MOSCOSO, C. (2007). Cambios en los usos y coberturas de suelo y sus efectos sobre la escorrentía urbana. Memoria para optar al título de Geógrafo Universidad de Chile.

ONU. (2007) Estado de la población mundial 2007. Liberar el potencial del crecimiento urbano. Estados Unidos.

PÉREZ, L. & E. SALINAS (2007) Crecimiento urbano y globalización: transformaciones del área metropolitana de Concepción, Chile, 1992-2002.

En: *Scripta Nova*. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de noviembre de 2007, vol. XI, núm.251 <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-251.htm>. [ISSN:1138-9788]. [Consulta: 10 Julio 2008].

Romero A., H., Romero T., H. y Toledo, X. 2009. (Aceptado) Agua, poder y discursos en el conflicto socio-territorial por la construcción de represas hidroeléctricas en la Patagonia Chilena. Anuario de Estudios Americanos, Madrid, España.

Romero, H., Moscoso, C. y Smith, P. 2009. Lecciones y conclusiones sobre la falta de sustentabilidad ambiental del crecimiento espacial de las ciudades chilenas. En "Chile: del país urbano al país metropolitano", Hidalgo, R., De Mattos, C., Arenas, F. (Editores). 89-110p. Serie GEOlibros N°12 Colección EURE-Libros. Instituto de Geografía e Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile pp.89-110.

ROMERO, H., ÓRDENES, F., APABLAZA V., ROCHA., V., REYES, C., VÁSQUEZ, A. (2003) *Planificación Ecológica y Gestión Ambiental de Cuencas Urbanas del Piedemonte de Santiago*; Gobierno Regional de la Región Metropolitana de Santiago. Programa de financiamiento de tesis y estudios de interés regional.

SMITH, P. (2006) Informe de Práctica Profesional: Análisis espacial de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la urbanización en el área Metropolitana del Gran Concepción entre 1975 y 2004. Proyecto FONDECYT 1050423. Laboratorio de Medio Ambiente y Territorio, Escuela de Geografía, Universidad de Chile.

STONE, B. (2004) Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. Elsevier, Landscape and urban planning N° 69, p.101-113.