

GENESIS Y MANIFESTACION DE LAS INUNDACIONES EN EL SUR DE CHILE. EL CASO DE LA COMUNA DE VALDIVIA DURANTE EL SIGLO XX ¹

PROF. CARLOS FERNANDO ROJAS HOPPE
Instituto de Geociencias - Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia, **Chile**
crojas@uach.cl

RESUMEN

Con el objetivo de conocer y sistematizar las principales características de las inundaciones que afectan a la ciudad y comuna de Valdivia (sur de Chile), se estudiaron los eventos extremos que la han afectado desde finales del siglo XIX. Objetivos específicos fueron inventariar y describir las inundaciones, establecer la tipología de inundaciones posibles para la comuna de Valdivia y cartografiar las áreas urbanas afectadas por los eventos mayores.

La metodología empleada incluyó una exhaustiva recopilación y análisis de los antecedentes bibliográficos, cartográficos, fotográficos y de campo disponibles. Con base en criterios de duración, número de barrios afectados y extensión máxima de cada evento, se propuso y aplicó una clasificación jerárquica en eventos *grandes*, *medianos* y *pequeños*. De acuerdo con su origen, las inundaciones que afectan a la comuna de Valdivia se pueden agrupar en 3 categorías: aquellas vinculadas a condiciones climáticas, las derivadas del impacto de tsunamis en la zona de desembocadura, y las generadas por el desagüe violento de aguas represadas por movimientos de masas en el lago donde nace el río Calle-Calle/Valdivia. Para aquellos eventos de origen climático, se estudiaron sus relaciones con las precipitaciones y los vientos, el tipo de marea imperante en el estuario, y el caudal detonante del desborde. Se discute la importancia de la información generada por esta investigación en la zonificación de áreas vulnerables a desbordes del río, su relación con el uso actual del suelo y con la expansión urbana proyectada para la ciudad.

Palabras claves: *Valdivia (Chile), amenazas naturales, factores detonantes*

¹ Investigación financiada por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile. Proyecto S-2001- 06

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las inundaciones históricas es parte fundamental de toda metodología para evaluar el riesgo de inundación en una ciudad (IGAC, 1992, Ribas y Saurí, 1996; Benito, 2002). La reconstrucción de las características hidrológicas y climáticas de las inundaciones pasadas, junto con indicadores geológicos y geomorfológicos y pruebas documentales, han demostrado ser importantes instrumentos de evaluación. Diversos autores han enfatizado la gran importancia de las evidencias documentales de inundaciones históricas para mejorar el conocimiento de eventos extremos y expandir el registro instrumental, muchas veces demasiado breve e insuficiente para calibrar en forma confiable el período de retorno de las grandes crecidas y estimar las magnitudes alcanzables por esos eventos de rango extraordinario (CSIC, 2002; Rodríguez de la Torre, 2002; Glantz, 2003).

En Chile, las inundaciones constituyen las principales fuentes de desastres naturales, junto con los terremotos. Ellas presentan una alta recurrencia temporal, especialmente en la zona de clima mediterráneo, donde la concentración de las lluvias en un período extraordinariamente corto (asociada en algunas ocasiones a altas temperaturas que provocan el rápido derretimiento de la nieve en la cordillera) y la pronunciada pendiente existente entre la cordillera andina y el mar, favorecen los desbordes de ríos y canales, además de generar anegamientos como resultado de las deficientes condiciones de drenaje y de los afloramientos de agua subterránea. Durante las últimas dos décadas del siglo XX hubo en Chile un promedio de 0,6 eventos de inundación por año, con un promedio de 16 víctimas fatales anuales por dicha causa (Bogardi, 2004). Las investigaciones sobre amenazas hidrometeorológicas en Chile se han realizado principalmente sobre localidades de la zona central, siendo más escasos para la zona sur del país (Rojas, 2000). Inserta en esta última, la ciudad de Valdivia se ve afectada por inundaciones y anegamientos invernales con mucha frecuencia. La alta recurrencia de los problemas generados por estas amenazas en diversos puntos de la ciudad sugiere que las características pluviométricas e hidrográficas de la zona de Valdivia describen una situación favorable para el desarrollo de eventos extremos detonantes de anegamientos e inundaciones, al interactuar con un ambiente urbano

vulnerable a ellas. Planteada la necesidad y utilidad de los estudios sobre las amenazas hidrometeorológicas, y ante la carencia de suficientes antecedentes que permitan incorporar adecuadamente la consideración de los riesgos hídricos en proyectos de planificación urbana y ordenamiento territorial y en planes de mitigación de riesgos en la ciudad de Valdivia, se diseñó esta investigación que abordó algunos aspectos básicos de las inundaciones que han afectado a la ciudad.

Con el objetivo de conocer el origen y sistematizar las principales características de las inundaciones que afectan a la comuna y ciudad de Valdivia, se estudiaron los eventos extremos que las han afectado desde finales del siglo XIX. Los objetivos específicos fueron inventariar y describir las inundaciones, establecer la tipología de inundaciones posibles para la comuna de Valdivia, cartografiar las áreas urbanas afectadas por los eventos mayores, evaluar la posible influencia de las mareas como factor potenciador de la amenaza de inundación, y la relación entre inundaciones y algunos elementos del clima (precipitaciones y vientos). Un aspecto significativo de la presente investigación radica en que se enmarca en el primer estudio hecho en Chile sobre riesgos hidrometeorológicos en que el sistema fluvial involucrado tiene el carácter de *estuario*, por lo tanto con una influencia de las mareas.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la comuna de Valdivia, con una superficie de 1015,6 km² y 140.559 habitantes, de los cuales un 92,5% es población urbana (INE, 2006). Fundada hace 455 años a orillas del río que lleva su nombre, la ciudad de Valdivia (Región de Los Lagos, 39° 49' S; 73° 14' W) (Figura 1) posee actualmente una superficie de 33 km². El río Calle-Calle/Valdivia determina la imagen de la ciudad; es su símbolo, área de esparcimiento y de actividades deportivas, vía de transporte e imán turístico y, en su época de mayor auge, también fue su eje industrial.

La comuna de Valdivia se caracteriza por poseer un clima templado lluvioso con influencia mediterránea (Cfsb₂), donde las precipitaciones durante el mes más seco superan los 60 mm (Subiabre y Rojas, 1994). El promedio de precipitaciones anuales para el período 1960-2005 (Instituto de Geociencias, 2006) es de 2307,3 mm, fluctuando entre un mínimo de 1.393,6 mm (1998) y un máximo de 3.140,2 mm (2002).

Los meses más lluviosos son los de mayo a agosto, donde precipita el 59% del total anual. En el mes más lluvioso (Julio) precipita un promedio de 394,7 mm; pero en los últimos 46 años las precipitaciones mensuales máximas absolutas han alcanzado valores tan altos como 934,8 mm (junio 2000) (Instituto de Geociencias, 2006).

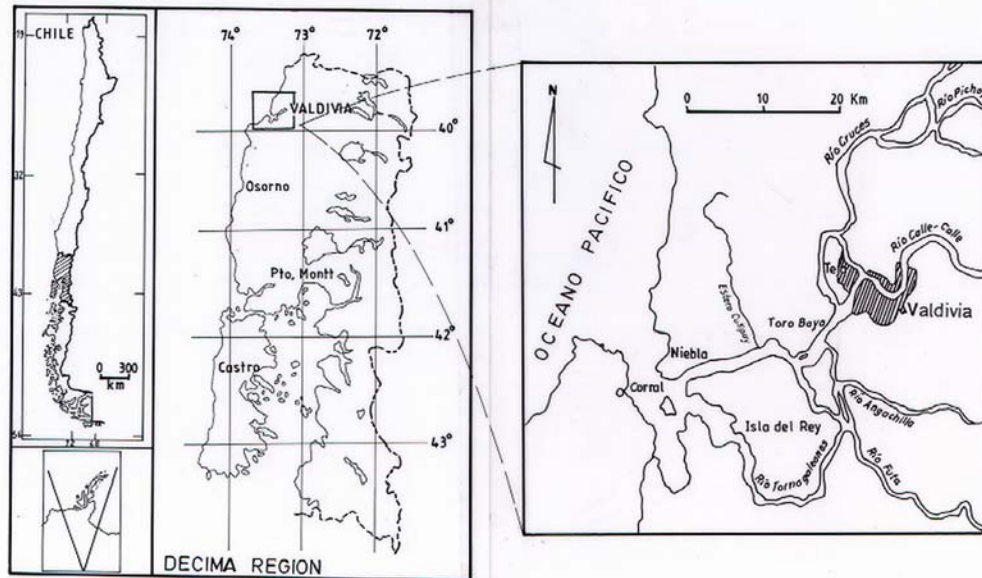


Figura 1. Localización de la ciudad de Valdivia junto al estuario del río Calle-Calle/Valdivia

El río Calle-Calle / Valdivia y sus tributarios posee un régimen de carácter pluvial regulado por los lagos de su cuenca alta. El módulo del río San Pedro en el desagüe del lago Riñihue alcanza a $424 \text{ m}^3/\text{seg}$. El río Valdivia propiamente tal (aguas abajo de la ciudad) no tiene registros continuos, ya que las mareas ejercen su influencia hasta 50 km hacia el interior de su desembocadura. El curso inferior corresponde a un estuario de mezcla parcial, con un rango de mareas menor a 2 m (Pino et al., 1994). En la bahía de Corral, donde desemboca, las mareas son semi-diurnas con una desigualdad diurna, y con una amplitud media de 0,8 m, pero fluctuando entre 1,48 m en mareas de sicigia y 0,53 m en mareas de cuadratura. Debido al gran número de cauces interconectados y a las áreas ribereñas inundadas, la amplitud de mareas se reduce hacia aguas arriba de la desembocadura (Pino et al., op. cit.).

Parte importante de la ciudad se desarrolla sobre terrazas fluviales y a una altura promedio de 9 m sobre el nivel del río, las que desde la fundación de la ciudad en 1552 no habrían sido alcanzadas por inundaciones (Rojas, 2000). En cambio, los también extensos sectores ubicados a cotas inferiores a 2 m sobre el nivel del río (“Barrios Bajos” de la ciudad), con pendientes predominantemente menores a 5% y correspondientes a la llanura aluvial, con un nivel freático somero y una alta humedad del suelo, experimentan reiterados anegamientos invernales por acumulación de aguas lluvias y por la incapacidad temporal de los sistemas colectores de evacuarlas en períodos de caudales punta del río y precipitaciones intensas y prolongadas sobre la ciudad. Muchos sectores ribereños con uso residencial, industrial y recreacional están asimismo expuestos actualmente a las inundaciones por desbordes del río.

METODOLOGÍA

El análisis de las inundaciones históricas en la ciudad se efectuó mediante una búsqueda de información bibliográfica en: documentos científicos, archivos técnicos y administrativos, fotografías y, principalmente, la información proporcionada por los archivos de los periódicos locales *El Correo de Valdivia*, *La Aurora*, *Chile Austral* y *El Diario Austral de Valdivia*, correspondientes al período 1899-2006, superando los 40.000 ejemplares revisados. Especial cuidado se tuvo en discriminar en las fuentes periodísticas entre información correspondiente a eventos de *anegamiento* y de *inundación* propiamente tales. Adicionalmente, se efectuaron entrevistas a habitantes de las zonas ribereñas al río. Dichas fuentes de información proporcionaron las fechas de ocurrencia y detalles acerca de la extensión de la zona inundada, altura del agua, permanencia del anegamiento, frecuencia de crecidas, etc. La información de cada evento, obtenida de las diversas fuentes, fue ingresada a una ficha estándar y tabulada para su análisis.

A fin de evaluar y jerarquizar los eventos de inundación, se diseñó una *escala de magnitud relativa* que permitiera reflejar la severidad de sus efectos, en función de las siguientes variables evaluadas para cada evento: duración del evento, número de barrios afectados y extensión lateral máxima del desborde. Cada una de las tres variables le otorgó un puntaje, cuya sumatoria permitió clasificar a cada evento en una

de tres categorías. Los criterios para evaluar cada variable, y los puntajes asignados a cada caso se presentan en la Tabla 1. Se clasificaron como inundaciones *grandes* aquellos eventos cuyas características le otorgaron un puntaje entre 14 y 18, como *intermedias* aquellas que obtuvieron entre 10 y 14 puntos, y *pequeñas* aquellas con menos de 9 puntos. El estado de la marea (sicigia-cuadratura) puede potenciar la generación y/o la magnitud de las inundaciones, por lo cual se pesquisó esa influencia en los eventos históricos 1899-2006. Las condiciones de marea (sicigias y cuadraturas) prevalecientes durante cada uno de los eventos fueron obtenidas de NASA (2006) y U.S. NAVAL OBSERVATORY (2006).

Para la evaluación del factor detonante de las inundaciones se presentaron dificultades por la carencia de información cuantitativa de las variaciones históricas del nivel de las aguas del río en la ciudad de Valdivia, y especialmente por la limitación de datos de caudales en la Dirección General de Aguas (D.G.A., 2006) al período posterior a 1987 para el río Calle-Calle (Balsa San Javier). Dadas esas restricciones, sólo fue posible analizar el factor detonante de las inundaciones para aquellas habidas durante los últimos 19 años. Para estos efectos, se consideró como *caudal de desborde* del río Calle-Calle al existente en la estación fluviométrica en el período de tiempo que en la ciudad de Valdivia se produjeron inundaciones por desborde del río.

Tabla 1. Criterios para evaluar la magnitud de las inundaciones en la comuna de Valdivia (1899-2006)

VARIABLE	CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES		
Duración del evento (Nº de días)	< 3 días	3 - 4 días	> 4 días
Barrios afectados (Nº)	1 - 3	3 - 5	> 5
Extensión lateral máxima (Cuadras)	< 1	1 - 3	> 3
PUNTAJE POR CARACTERÍSTICA	1	3	6

Fuente: Elaboración del autor

Con el fin de evaluar preliminarmente la relación entre inundaciones y algunos elementos del clima, se recolectó la información sobre las lluvias que precedieron a los eventos de inundación que, aunque corresponde solamente a la ciudad de Valdivia, proporciona un antecedente acerca de la magnitud e intensidad de las mismas en parte de la cuenca. Para evaluar la posible influencia del viento como factor potenciador de la amenaza de inundación, se recopiló la información sobre sus características de dirección y máxima fuerza, medidas durante el día que se inició la respectiva inundación. Para ambas variables se aprovechó la base de datos (1960-2006) de la Estación Meteorológica Isla Teja (Instituto de Geociencias, 2006).

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el territorio comprendido en la cuenca del río Valdivia y para el período investigado, fue posible reconocer varios tipos de inundaciones. Los efectos de aluviones y crecidas fluviales se hacen sentir con mucha frecuencia durante el invierno en la zona andina y preandina, provocando el aislamiento de poblados o comunidades rurales por cortes de caminos y destrucción de puentes, como ocurrió, por ejemplo, en los inviernos de 1999, 2000 y 2004. La mayor parte de estos casos responde a eventos extremos del tipo *inundaciones relámpago*, desencadenados en cuencas relativamente pequeñas. También deben mencionarse inundaciones en poblados lacustres generadas por *aumento del nivel del espejo de agua* de algunos lagos a consecuencia de elevados montos de precipitaciones invernales, como por ejemplo en torno al lago Panguipulli (1961, 1976, 1978, 1982 y 2000). Menos frecuentes, pero más intensas, suelen ser las inundaciones asociadas a *represamientos artificiales o naturales de los ríos* que desaguan estos lagos; es el caso de las inundaciones de los poblados de Coñaripe y Riñihue y de la ciudad de Panguipulli con ocasión de los trabajos de desagüe del obstruido río San Pedro por el terremoto de mayo de 1960. Otra categoría de inundaciones se genera por intensas y prolongadas precipitaciones en áreas extensas, produciéndose *desbordes de grandes ríos* que afectan a ciudades y pueblos a lo largo del curso del río Calle-Calle, particularmente a la comuna y ciudad de Valdivia.

La exhaustiva revisión de las fuentes consultadas permitió identificar un total de 70 eventos de inundación que han afectado a la comuna de Valdivia entre 1899 y 2006,

los que fluctúan desde desbordes pequeños hasta inundaciones que, por la magnitud de sus efectos o por aparecer asociadas a otros eventos extremos de naturaleza diferente, alteraron profundamente las actividades urbanas normales en la ciudad de Valdivia. Entre estas últimas destacan los eventos de mayo y julio de 1960, derivados ambos del sismo del 22 de mayo de ese año (tsunami y desagüe de lago obturado por derrumbes, respectivamente). Tanto por su origen como por sus características, estos dos eventos constituyen la excepción, ya que en todos los otros casos los desbordes fluviales fueron consecuencia de fenómenos climáticos (Tabla 2).

Estos casos especiales constituyen eventos de baja frecuencia pero no desconocidos en la historia de la ciudad (Rojas, 2000, 2007). Corresponden, por una parte, a inundaciones causadas por los efectos de tsunamis en la bahía de Corral, que también repercutieron de alguna manera en las riberas del estuario del río Valdivia (Castedo, 2000; Saint Amand, 1961; Weischet, 1960). El caso más reciente es el del gran maremoto de mayo de 1960, pero también en 1575 y 1837 las costas de Valdivia fueron impactadas por maremotos aparentemente equivalentes al de 1960 (Lomnitz, 1970). Por otra parte, a consecuencia del terremoto del 22 de mayo de 1960 se produjeron deslizamientos en el desagüe del lago Riñihue, que generaron un represamiento de las aguas del lago durante 2 meses, elevando su nivel en más de 25 metros. Al cabo de ellos, el desagüe semi-controlado de las aguas acumuladas (3.000 millones de m³) generó una avenida que provocó inundaciones a lo largo de todo el curso medio e inferior del río Calle-Calle/Valdivia, afectando también a la ciudad de Valdivia (Davis y Karzulovic, 1961; Watanabe y Karzulovic, 1960; Weischet, 1960), donde el nivel de las aguas fue de aproximadamente 2 m sobre el normal. Al igual que en el caso de los maremotos, en la historia de la ciudad este evento extremo no ha sido el único en esta categoría, por cuanto al menos el terremoto de 1575 provocó idénticos efectos al de 1960 (Weischet, 1960).

Del total de 70 eventos de inundación habidos en la comuna entre 1899 y 2006 (Tabla 3), cuatro de ellos (6%) pueden clasificarse como de gran magnitud. Estos son los de julio de 1899, julio de 1922, mayo de 1949 y julio de 1960. Inundaciones medianas (14%) fueron las de julio (9-10) de 1928, agosto (7-8) 1932, junio (24-27) de 1949, mayo-junio (29/5-4/6) de 1961, junio (23-26) de 1963, agosto (9 y 14-17) de 1965,

julio (19-21) de 1978; julio (19-20) de 1982, y junio (3-5) de 2000. En tanto, las 56 restantes pueden considerarse como pequeñas inundaciones (80%).

Tabla 2. Génesis de las inundaciones en la comuna de Valdivia (1899-2006)

TIPOLOGIA DE INUNDACION	GÉNESIS	EJEMPLO
POR CONDICIONES CLIMÁTICAS	Inundaciones generadas por aumento de caudal a consecuencia de intensas y/o prolongadas precipitaciones (generalmente invernales u otoñales) en la cuenca del río Calle-Calle/Valdivia	3 - 5 de junio 2000. Intensas y prolongadas lluvias en la cuenca, con montos récord para Valdivia en los últimos 46 años ($I_{max} = 155,2$ [mm/24 h]), generaron aumentos de caudal que desbordaron el río
POR IMPACTO DE TSUNAMIS	Inundaciones causadas por los efectos de tsunamis en la bahía de Corral, que remontan el estuario y repercuten en las riberas del río Valdivia y sus tributarios	22 de mayo 1960. Sismo $M_w = 9,5$ que generó un Tsunami en la Bahía de Corral. Complejo efecto de tapón y masa de agua remontante
POR REPRESAMIENTOS DE DESAGÜES LACUSTRES	Inundaciones asociadas a represamientos, por movimientos de remoción de masas de origen sísmico o artificial, de los ríos que desaguan a una cuenca lacustre. Incluye la inundación de las riberas lacustres por alzamiento de la cota de las aguas, y las inundaciones generadas por la ulterior avenida al liberarse las aguas represadas.	25 -29 de julio 1960. Desagüe de aguas acumuladas en el lago Riñihue (3.000 millones m^3) por obstrucción de su desagüe a consecuencia del sismo del 22.05.60. Inundaciones a lo largo de todo el curso medio e inferior del río Calle - Calle / Valdivia

Una característica destacada en las inundaciones es la buena sincronía existente entre los eventos de inundación y la ocurrencia de mareas de sicigias. Para el conjunto de ellas, en 42 de los 70 eventos (60%) la inundación ocurrió exactamente en el día de la marea de sicigia. El porcentaje se eleva a 80% cuando se incluyen aquellas inundaciones habidas en períodos muy cercanos a la sicigia (1 día anterior o posterior), con mareas menores sólo en 10 cm respecto al nivel predicho para la sicigia. La totalidad de las *grandes* inundaciones, el 80% de las *medianas* y el 75% de las *pequeñas* ocurrió en esa situación. Esta característica es única entre las ciudades chilenas expuestas a desbordes fluviales, y los resultados permitieron comprobar la hipótesis sobre la influencia de las mareas en potenciar las inundaciones. Resultados de investigaciones recientes sugieren, sin embargo, que la situación es más compleja al analizarla en detalle, ya que un minucioso seguimiento temporal (diciembre 1999 a junio 2001) del caudal del río Calle-Calle y de sus efectos en la ciudad permitió establecer

que la condición de la marea (cuadratura o sicigia) no sería la única variable que influye (Rojas, 2002). Entre otros factores que podrían concurrir a potenciar los desbordes se encontrarían la magnitud de la marea, las corrientes en el estuario y la influencia de caudales entrantes al sistema desde ríos tributarios. Aparte de las precipitaciones (monto, intensidad, días consecutivos de lluvia), viento (dirección, velocidad) y mareas (sicigia, cuadratura) como factores detonantes y potenciadores de las inundaciones, para algunos eventos previos a 1960 se postula adicionalmente una importante influencia del estado de embancamiento del estuario del río Valdivia y de la bahía de Corral en su respuesta frente a las crecidas, dificultando la evacuación de las aguas y favoreciendo su desborde; este habría sido el caso de los grandes eventos de 1922 y 1949 (Rojas, en preparación).

Tabla 3. Clasificación de las inundaciones históricas (1899 - 2006) en la comuna de Valdivia

INUNDACIONES	NÚMERO DE EVENTOS	%	AÑOS
GRANDES	4	6	1899, 1922, 1949, 1960
MEDIANAS	10	14	1928, 1932, 1949, 1961, 1963, 1965 (2), 1978, 1982, 2000
PEQUEÑAS	56	80	1913, 1915 (2), 1917, 1918, 1919, 1926, 1928, 1929 (2), 1930, 1932, 1934, 1941, 1948 (3), 1949, 1951, 1953 (2), 1958, 1960, 1961, 1962 (3), 1963 (4), 1964 (2), 1965 (5), 1966 (3), 1969, 1970, 1971, 1977 (2), 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1993 (2), 1997 (2), 2004
TOTAL	70	100	

La duración de los eventos de inundación para el conjunto de 70 casos fluctuó entre un mínimo de 1 día y un máximo de 11 días (julio 1899; mayo 1949), siendo la media de 2,3 días. La distribución temporal de las inundaciones durante el siglo XX (Figura 2) muestra una frecuencia entre 5 y 7 eventos por década para la mayor parte de los casos. No obstante, el decenio entre 1961 y 1970 destaca por más que triplicar el número promedio de eventos por decenio, alcanzando a 24 eventos. También es

llamativa la uniforme frecuencia de eventos durante los tres últimos decenios del siglo XX. La causa del marcado incremento de eventos radicaría en dos consecuencias del terremoto de mayo de 1960: las extraordinarias modificaciones en la morfometría del cauce del estuario (subsistencia tectónica de 2,0 metros) y la destrucción de las defensas fluviales a lo largo de toda la ribera fluvial de la ciudad. Estas últimas se terminaron de reconstruir sólo a mediados de ese decenio. De ahí que el 50% de todos los eventos en el período posterior al sismo tuviera lugar en los primeros 5 años de la reconstrucción de la ciudad, reflejando la alta vulnerabilidad de los sectores ribereños frente a los desbordes, a causa del hundimiento del terreno y la falta de defensas fluviales y trabajos de relleno. Una vez establecidos éstos, los barrios estaban mejor preparados y las inundaciones disminuyeron. Las avenidas invernales inmediatamente posteriores al sismo disponían aparentemente de una “ventaja” de aproximadamente 2,0 m respecto a años anteriores, en razón de la subsistencia co-sísmica del terreno en esa magnitud, presentando así la ciudad menores requerimientos de subida de nivel del río para inundarse. El hundimiento del terreno implicó que, a partir de 1960, nuevas y extensas áreas a orillas del estuario quedarán disponibles para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua durante las crecidas. A esto se añade un cambio en la batimetría como consecuencia de la subsistencia y las corrientes generadas por el tsunami, todo lo cual implicó que las crecidas posteriores a 1960 dispusieran de un cauce con mayor amplitud de la sección transversal y de un lecho de inundación diferente y con mayor capacidad de almacenamiento de los caudales de crecida. Aguas abajo de Valdivia también son extensas las áreas bajas anegadas o anegables, permitiendo además en este caso una menor efectividad en la acción de “tapón” ejercida por las aguas en el estuario durante las corrientes de flujo, especialmente durante mareas vivas.

Con respecto a la distribución mensual de los eventos para todo el período, la Figura 3 muestra que el mayor número de casos se da en los meses invernales de junio y julio (64,3% de los eventos), siendo también relativamente frecuentes las inundaciones en mayo (15,7%) y agosto (14,3%). Con escasa frecuencia ocurrieron eventos en marzo, abril, septiembre y diciembre (5,7% de las inundaciones).

INUNDACIONES EN VALDIVIA 1899 - 2006
FRECUCIA DE EVENTOS POR DÉCADA

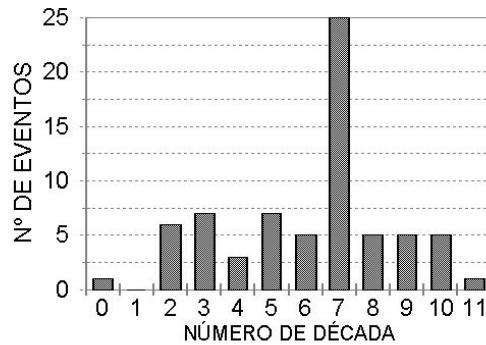


Figura 2. Frecuencia de eventos de inundación por decenio entre 1899 y 2006 en la ciudad de Valdivia

Esta situación es consistente con las características del régimen fluvial del río, correspondiendo los últimos casos mencionados a inundaciones *pequeñas*. Las inundaciones no vinculadas genéticamente a condiciones climáticas tuvieron una aparición durante las estaciones de otoño-invierno por un hecho exclusivamente fortuito.

INUNDACIONES EN VALDIVIA 1899 - 2006
FRECUCIA MENSUAL

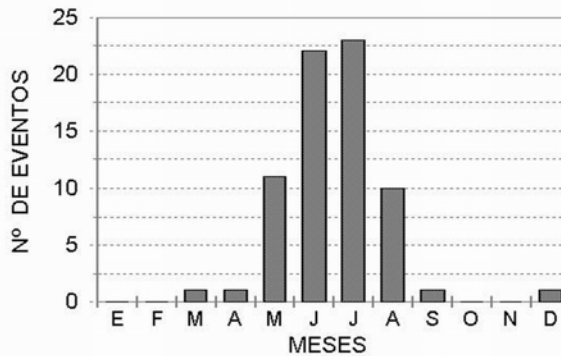


Figura 3. Distribución mensual de los eventos de inundación en Valdivia (1899 - 2006)

Mediante la información recopilada desde las diferentes fuentes se estimaron las cotas alcanzadas por las aguas del río durante las grandes inundaciones (Tabla 4), considerando la subsidencia tectónica ocurrida durante el sismo de 1960, aplicando

para ello un factor de corrección para los eventos previos, a fin de uniformar los niveles de referencia y poder hacer comparaciones pre y post sismo en forma objetiva. Se cartografiaron las áreas de la ciudad cubiertas durante los mayores eventos de inundación de origen climático (1899, 1922 y 1949), cuyas magnitudes se ordenan jerárquicamente en el orden cronológico de su ocurrencia. Las áreas cubiertas durante las grandes inundaciones se extienden sobre diversos barrios de Valdivia de un modo desigual, en función de la topografía, la geomorfología y algunos factores locales, tales como la infraestructura urbana existente en esas fechas, imprescindibles de considerar en el trazado de ellas. A modo de ejemplo se presenta el caso del sector donde se ubica el núcleo tradicional de la ciudad (Figura 4).

Tabla 4. Estimación de la cota alcanzada por las grandes inundaciones en la ciudad de Valdivia (1899 – 2006)

INUNDACION	COTA DEL NIVEL DEL RÍO EN EL RESPECTIVO AÑO (m s. n. m. *)	COTA ACTUAL DEL NIVEL ALCANZADO (m s. n. m.) *
1899	4,1	2,1
1922	3,6	1,6
1949	2,5	0,5
1960	3,0	3,0

NOTA: * Metros sobre el actual nivel medio del mar

RELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y FACTORES CLIMÁTICOS

Dada la desigual disponibilidad de información meteorológica e hidrológica confiable, los análisis debieron restringirse a los eventos ocurridos en ciertos períodos específicos. El análisis de las características del viento que acompañó los eventos de inundación entre 1960 y 2006 permite deducir que el 100% de ellos estuvo acompañado de vientos de componente norte y oeste, propios de los temporales invernales en el sur de Chile, correspondiendo un 68% de los casos a viento N, 21% a vientos del NW, y un 11% a vientos del NNE, NNW y W. La fuerza del viento fluctuó ampliamente entre los grados 1 y 10 de la escala de Beaufort (2 a 90 km/h), con el 50% de los casos iguales o superiores a 36 km/h. Si bien la frecuencia de vientos *muy fuertes* fue baja, no puede descartarse la influencia que pueden ejercer en la generación de una presión sobre las

masas de agua en la bahía de Corral y el estuario del río Valdivia, dificultando su evacuación. En numerosos eventos, los vientos de moderados a fuertes y de componentes N y W no sólo ocurrieron durante el día que se inició la inundación, sino que la precedieron y/o acompañaron durante al menos un día (Instituto de Geociencias, 2006).

El estudio de las precipitaciones para los eventos posteriores al sismo de 1960 reveló que, con respecto a las lluvias acumuladas en los 5, 10 y 30 días previos al inicio de cada uno de los eventos, en general, los totales requeridos para detonar las inundaciones en los últimos 40 años fueron entre 1,5 y 1.8 veces mayores que los requeridos en los primeros 7 años. En la Tabla 5 se resumen algunas características pluviométricas previas a los eventos de inundación 1960 – 2006 detonados por lluvias. Los menores montos de la serie corresponden a eventos de 1962 (para 30 días previos) y 1963 (para 5 y 10 días previos), generando este último una inundación *mediana*. Todas las inundaciones *medianas* posteriores requirieron una precipitación acumulada de más de 100 mm para los 5 días anteriores. Los 3 menores valores para la precipitación acumulada en 5, 10 y 30 días se presentaron en los primeros 7 años de la serie. En 23 inundaciones pequeñas y medianas (59% de todos los casos 1960 - 2006) la precipitación acumulada en los 5 días previos alcanzó valores superiores a los 100 mm, y en el 62% de los casos, durante los 10 días previos precipitaron al menos 150 mm. En cuanto a las intensidades máximas de precipitación y a los días consecutivos de lluvia, los eventos posteriores a 1966 son en promedio 1,6 y 1,1 veces mayores que los primeros de la serie, respectivamente. Esto se interpreta como un reflejo de la alta vulnerabilidad ante las crecidas fluviales con que quedaron los barrios ribereños a consecuencia del sismo de 1960 durante los primeros 7 años de reconstrucción de la ciudad.

RELACIÓN ENTRE INUNDACIONES Y CAUDALES

El análisis de los caudales correspondiente a las inundaciones ocurridas en la comuna durante los últimos 15 años del siglo XX (Tabla 6), permite establecer que los desbordes se produjeron a partir de un caudal promedio para los 5 días previos fluctuante ampliamente entre 421,4 m³/s y 1.961 m³/s.

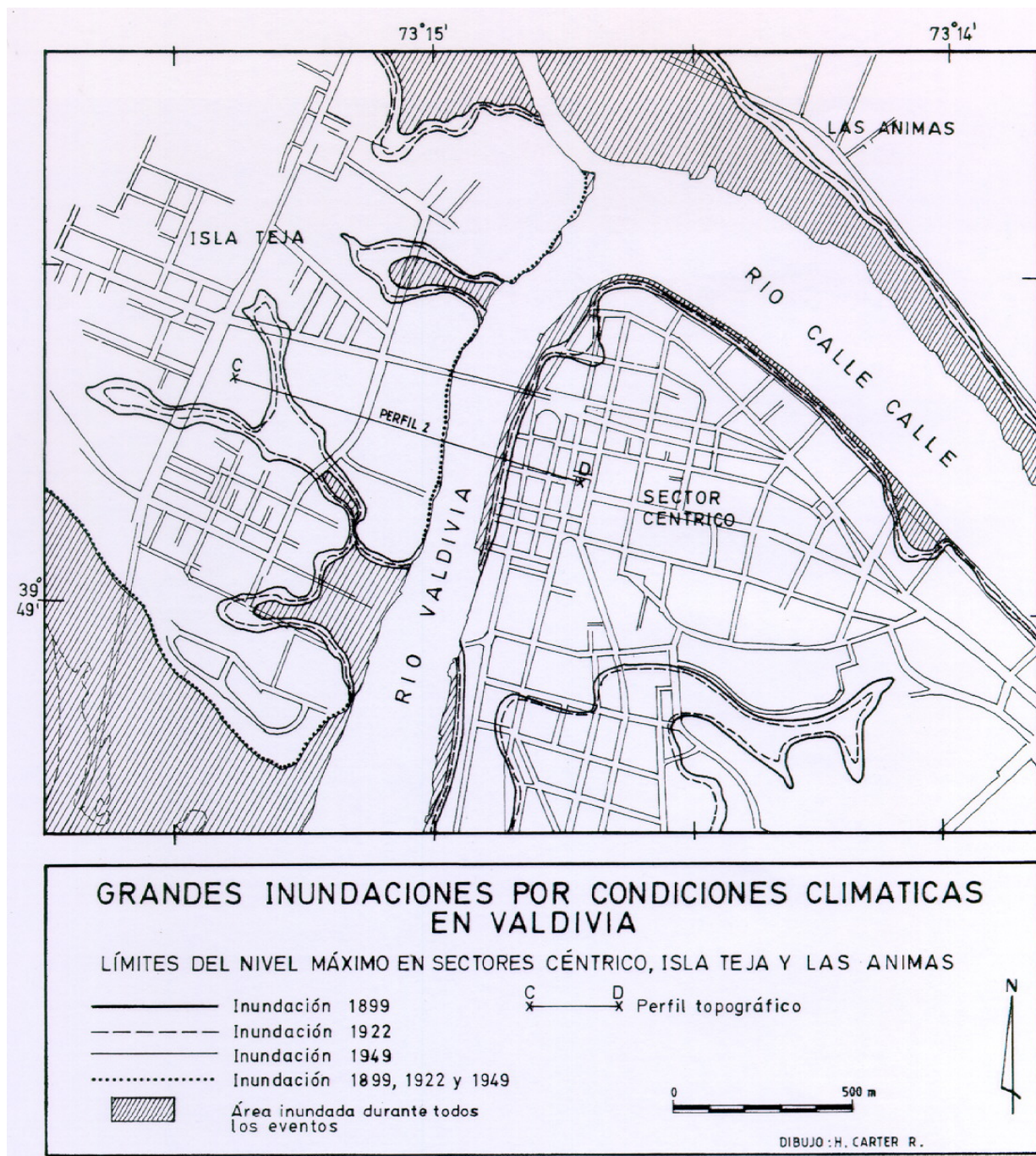


Figura 4. Grandes inundaciones por condiciones climáticas durante el siglo XX en el núcleo tradicional de la ciudad de Valdivia

Tabla 5. Características pluviométricas previas a los eventos de inundación 1960 – 2006 detonados por lluvias

ESTADÍGRAFOS	PRECIPITACIÓN ACUMULADA * [mm]			INTENSIDAD MAXIMA [mm / 24 h]	DÍAS CONSECUTIVOS DE LLUVIA **
	5 DÍAS	10 DÍAS	30 DÍAS		
MÍNIMO	22,5	33,4	187,7	33,6	5
MÁXIMO	321,9	382,6	709,8	155,2	26
PROMEDIO	116,5	202,5	427,7	73,5	14
DESVIACIÓN ESTANDAR	68,0	87,1	151,1	31,6	5,7

* Precipitación acumulada en los días anteriores a la inundación

** Número máximo de días consecutivos de lluvia durante los 30 días anteriores a la inundación

Imax Intensidad diaria máxima de las precipitaciones durante los 30 días anteriores a la inundación

Fuente: Estación Meteorológica Isla Teja. Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile

Una vez detonada la inundación, los caudales máximos logrados implicaron incrementos entre 1,2 y 5,9 veces respecto a ese caudal promedio. El extraordinario incremento en el evento del año 2000 se explica por los elevados montos y las sumamente intensas lluvias caídas en los 5 días previos (254,7 mm) (INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, UACH, 2006). En el conjunto de los eventos estudiados, el caudal de desborde fluctuó notablemente, originándose esta situación porque el nivel que debe alcanzar el río para empezar a inundar la ciudad no depende sólo del caudal. Esta singular situación para las ciudades chilenas se explica, como fuera oportunamente señalado, por el efecto regulador que genera la marea existente en el estuario en el momento de llegar a éste un determinado caudal de aguas dulces, a lo cual se suma la probable influencia de los vientos, las corrientes y el embancamiento que está experimentando el curso inferior del río, variables que deberán ser consideradas en futuras investigaciones. De los 6 eventos analizados, la crecida del 29/7/1997 es la única que tuvo lugar durante la condición que puede describirse como menos favorable para provocar una inundación, habida consideración que la marea en el estuario no se encontraba en plena sicigia. Resulta por lo tanto razonable considerar en primera instancia como caudal mínimo de desborde para el río Calle-Calle un valor no inferior a 2.300 m³/s para una situación sin marea plena de sicigia en el estuario. Para mareas de cuadratura propiamente tales (mareas “muertas”), es factible esperar un valor umbral incluso mayor, dado que en esa condición se presenta la situación menos favorable para un desborde.

Tabla 6. Caudales del río Calle - Calle [m³/s] durante los últimos eventos de inundación del siglo XX en Valdivia

FECHA DESBORDE	Qm 5da	Qmi 3dd	Qmi 5dd	Qmax i	Q D
1987, JULIO 14	1.617,8	1.819,3	1.764,6	1.877,0	1.716,0
1993, JULIO 7	1.961,0	2.337,7	2.253,8	2.577,0	2.115,0
1993, JULIO 19	1.793,2	2.008,7	1.902,6	2.184,0	2.184,0
1997, JUNIO 19	1.179,6	1.505,3	1.542,2	1.617,0	1.441,0
1997, JULIO 29	1.440,8	2.175,0	2.045,8	2.372,0	2.372,0
2000, JUNIO 3	421,4	2.078,3	1.803,0	2.469,0	1.951,0

Qm 5da Caudal medio durante los 5 días previos a la inundación

Qmi 3dd Caudal medio durante la inundación (3 días a partir del inicio)

Qmi 5dd Caudal medio durante la inundación (5 días a partir del inicio)

Qmax i Caudal máximo durante la inundación (5 días a partir del desborde)

Q D Caudal detonante del desborde (el primer día de la inundación)

NOTA: Información correspondiente a Estación fluviométrica San Javier (Río Calle-Calle). Fuente: D.G.A.

Por las razones discutidas anteriormente, tampoco los mayores caudales registrados en la serie analizada deben considerarse como los caudales máximos de desborde (ni estimarse los caudales máximos probables) en Valdivia, ya que la serie cronológica actualmente existente es aún insuficiente como para suponerla representativa de las condiciones hidrológicas (MOPT, 1992). Pero, sin embargo, pueden considerarse como un valor “orientador” en el análisis de los caudales máximos posibles de ocurrir en el río Calle-Calle. Finalmente, es importante recalcar que el nivel del río en la ciudad está permanentemente oscilando por la onda de marea, y por lo tanto los mayores niveles no son determinados exclusivamente por el caudal. Eso implica que para la ciudad de Valdivia no es posible calcular el período de retorno de un determinado evento de inundación empleando los datos del caudal máximo anual, tal como se realiza en un río con corriente unidireccional.

En la geomorfología del sitio de la ciudad de Valdivia, la llanura aluvial del río Calle-Calle/Valdivia es una unidad ampliamente representada. Originada especialmente por inundaciones Holocenas, esta geoforma es evidencia que los procesos de desborde constituyen aquí eventos frecuentes a lo largo del tiempo. Las inundaciones ocurridas en las últimas décadas y analizadas en este artículo son en realidad fenómenos de magnitud pequeña, en comparación no sólo a los grandes eventos de la primera mitad del siglo XX, sino probablemente a las más antiguas. En el área urbana de la comuna, estas planicies que se caracterizan por pendientes muy suaves y por suelos con niveles

freáticos muy superficiales, acogen en numerosos sectores a humedales riparianos e interiores, existiendo numerosas áreas con problemas de drenaje, que en parte han sido objeto de relleno artificial. Ellas han sido escenario de desbordes del río durante todos los eventos *grandes* documentados en la presente investigación. A la luz de los antecedentes históricos de estos eventos naturales extremos y habida consideración que en la comuna de Valdivia la ciudad ha experimentado en las últimas décadas una expansión importante con poblaciones de densidad media - alta hacia el sector E, S y SE y que al mismo tiempo continúa la ocupación y desarrollo de los Barrios Bajos, el incipiente retorno de la práctica de ocupar paleocauces y sectores deprimidos de la llanura fluvial para proyectos inmobiliarios extensos o puntuales se advierte como particularmente peligroso. Un aspecto importante de destacar en relación a los abundantes humedales del área de estudio es acerca de su valor y de sus funciones en el control de las inundaciones y los anegamientos. Considerando la gran extensión que abarcan los humedales en la parte inferior de la cuenca del río Calle-Calle/Valdivia, en particular en la comuna de Valdivia, debe recalcar que ellos constituyen ambientes que también desde este punto de vista son estratégicos y cuya conservación y adecuado manejo conviene asegurar.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada mediante el Proyecto de Investigación *Zonificación y evaluación de áreas de amenaza de inundación en la ciudad de Valdivia* (S – 2001-06) de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile. El autor agradece a la Dirección General de Aguas, Oficina de Valdivia, por facilitar la información de caudales del río Calle-Calle.

BIBLIOGRAFÍA

- Benito, G. 2002. La paleohidrología en el análisis de inundaciones. En: *Riesgos Naturales*. Coord. Ayala-Carcedo, F. y Olcina Cantos, J. 953 – 967. Editorial Ariel, Barcelona.
- Bogardi, J. 2004. Two Billion People Vulnerable to Floods by 2050. United Nations University. Institute for Environment and Human Security. (UNU-EHS). En:

<http://www.unu.edu/news/ehs/floods.doc>

- Castedo, L. 2000. La hazaña del Riñihue. El terremoto de 1960 y la resurrección de Valdivia: crónica de un episodio ejemplar de la historia. Editorial Sudamericana. Santiago de Chile. 134 p.
- CSIC, 2002. Paleocrecidas, datos históricos y variabilidad climática: aplicaciones en la evaluación del riesgo de inundaciones. Taller Internacional. Barcelona, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Conclusiones en versión electrónica en: <http://www.cig.ensmp.fr/~iahs/conferences/CR2002/2002Barcelona.htm>
- Davis, S. & Karzulovic, J. 1961. Deslizamientos en el valle del río San Pedro, provincia de Valdivia, Chile. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile* 18: 53-108
- D.G.A. 2006. Estadística de caudales diarios de la estación fluviométrica Balsa San Javier (río Calle-Calle), hoya del río Valdivia (1987 -2001). Dirección General de Aguas, Valdivia.
- Glantz, M. 2003. Climate affairs: a primer. Island Press. Washington. 291 p.
- IGAC, 1992. Apuntes del curso de postgrado *Geología y Geomorfología aplicadas a Riesgos Naturales*. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Santa Fe de Bogotá, Colombia. 27 de julio a 11 de septiembre, 1992.
- Instituto de Geociencias, 2006. Estadísticas de precipitaciones en la Estación Isla Teja. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 1960-2006.
- INE, 2006. Síntesis de resultados Censo 2002. Instituto Nacional de Estadísticas. Chile (INE). En: www.ine.cl
- Lomnitz, C. 1970. Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische Rundschau* 59:938-960
- MOPT, 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Centro de Publicaciones. Madrid. 809 p.
- NASA, 2006. Six Millennium Catalog of Phases of the Moon. NASA/Goddard Space Flight Center. <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/phase/phasecat.html>
- Pino, M.; Perillo, G. y Santamarina, P. 1994. Residual fluxes in a cross-section of the Valdivia river estuary, Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 38:491-505.

- Ribas, A. y Saurí, D. 1996. El estudio de las inundaciones históricas desde un enfoque contextual. Una aplicación a la ciudad de Girona. *Papeles de Geografía* N° 23-24:229-244
- Rodríguez de la Torre, F. 2002. Metodología de la investigación histórica de desastres naturales. En: *Riesgos Naturales*. Coord. Ayala-Carcedo, F. y Olcina Cantos, J. 211 – 242. Editorial Ariel, Barcelona.
- Rojas, C. 2000. Los Riesgos Naturales en la ciudad de Valdivia, Chile. Importancia de los factores físicos en la evaluación de la Vulnerabilidad. Seminario Internacional *La ciudad Intermedia Sustentable*. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú.
- Rojas, C. (2002) Zonificación y evaluación de áreas de amenaza de inundación en la ciudad de Valdivia. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención en Recursos Hídricos. Escuela de Graduados. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. 246 p.
- Rojas, C. 2007. Eventos naturales extremos durante el siglo XX en la provincia de Valdivia, sur de Chile. XI Encuentro de Geógrafos de América Latina, Bogotá, 26 – 30 de marzo 2007, Bogotá, Colombia.
- Saint Amand, P. 1961. Observaciones e interpretación de los terremotos chilenos de 1960. *Comunicaciones de la Escuela de Geología* 1(2): 1-54
- Subiabre, A. y Rojas, C. 1994. "Geografía Física de la Región de Los Lagos". Ediciones Universidad Austral de Chile. Dirección de Investigación y Desarrollo. Valdivia. 118 pág.
- U.S. NAVAL OBSERVATORY, 2006. Phases of the Moon 1700 - 2015. U.S. Naval Observatory. Astronomical Applications Department.
<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonPhase.html>
- Watanabe T. y Karzulovic, J. 1960. Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile* 17:23-64.
- Weischet, W. 1960. Contribución al estudio de las transformaciones geográficas de la parte septentrional del sur de Chile por efecto del sismo del 22 de mayo de 1960. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile* 17:95-128

ANEXOS FOTOGRAFICOS



