



ANÁLISIS MULTIESCALAR DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES EN LA PATAGONIA CHILENA: SÍNTESIS DE TRABAJOS RECIENTES

HUGO ROMERO ¹, ALEXIS VÁSQUEZ ², PAMELA SMITH ³, MAGALY MENDONÇA ⁴

¹ Geógrafo, Prof. Dr., Universidad de Chile, Santiago de Chile, hromero@abello.dic.uchile.cl

² Geógrafo, Profesor, Universidad de Chile, Santiago de Chile

³ Geógrafa, Universidad de Chile, Santiago de Chile

⁴ Geógrafa, Profª.Drª., Departamento de Geociências, UFSC, Brasil
Fondo de Desarrollo de Ciencias y Tecnologías (Fondecyt) de Chile 1071096

RESUMEN: La Patagonia Chilena es una de las regiones más naturales del planeta, como consecuencia de sus condiciones climáticas. A macroescala, se localiza en el Cinturón de los Vientos del Oeste y bajo predominio constante de las masas de aire y frentes polares por lo que registra máximos de precipitaciones líquidas y sólidas y campos de hielo, que constituyen una de las más importantes reservas de agua dulce en el Hemisferio Sur. A mesoescala, se trata de la zona en que la Cordillera de los Andes alcanza el Océano Pacífico a través de acantilados montañosos, fiordos y canales, presentando nieves permanentes y gran cantidad de glaciares. Cada uno de los paisajes de la Patagonia registra condiciones topoclimáticas que favorecen la conservación de la naturaleza y limitan las acciones antrópicas. Los cambios climáticos implican una significativa reducción de las precipitaciones y aumento de las temperaturas, elevación de las líneas de nieve, y por lo tanto, retroceso glaciar. Como consecuencia se están registrando importantes desajustes ambientales, caracterizados por deglaciación, inundaciones inusuales, olas de calor, pérdida de humedad de los suelos y transformaciones de las cubiertas vegetales. Las presiones climáticas sobre los usos y coberturas de las tierras están obligando a modificaciones en las prácticas productivas, a lo que se debe agregar el interés de las empresas transnacionales por utilizar recursos hídricos estratégicos en generación de electricidad. La potenciación de los cambios globales y la globalización económica están amenazando la existencia de la Patagonia chilena, sin que existan estrategias de adaptación adecuadas.

PALABRAS CLAVES: Escalas climáticas, cambios de clima, Patagonia

ANÁLISE MULTIESCALAR DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PATAGÔNIA CHILENA: UMA SÍNTESE DE TRABALHOS RECENTES

RESUMO: A Patagônia Chilena é uma das regiões mais naturais do planeta, como consequência de suas condições climáticas. Em macro escala, se localiza no Cinturão dos Ventos de Oeste e sob predomínio constante das massas de ar e frentes polares pelo que se registram máximos de precipitações líquidas e sólidas e campos de gelo, que constituem uma das mais importantes reservas de água doce no Hemisfério Sul. A mesoescala, se trata da zona em que a Cordilheira dos Andes alcança o Oceano Pacífico através de escarpas alcantiladas, fiordes y canais, apresentando neves permanentes e grande quantidade de glaciais. Cada uma das paisagens da Patagônia registra condições topoclimáticas que favorecem a conservação da natureza e limitam as ações antrópicas. Mudanças climáticas têm implicado numa significativa redução das precipitações e aumento das temperaturas, elevação das linhas de neve, e, portanto, retrocesso glacial. Em consequência estão sendo registrados importantes desajustes ambientais, caracterizando degelo, inundações excepcionais, ondas de calor, perda de umidade dos solos e transformações nas coberturas vegetais. As pressões climáticas sobre os usos e coberturas das terras estão obrigando modificações nas práticas produtivas, ao que se deve agregar o interesse das empresas transnacionais por utilizar recursos hídricos estratégicos em geração de eletricidade. A potencialização das mudanças globais e globalização econômica estão ameaçando a existência da Patagônia chilena, sem que existam estratégias de adaptação adequadas.

PALAVRAS CHAVES: Escalas climáticas, mudanças climáticas, Patagônia

CLIMATE CHANGE MULTISCALAR ANALYSES AND ITS IMPACTS ON THE CHILEAN PATAGONIA: A SYNTHESIS OF RECENT WORKS.

ABSTRACT: The Chilean Patagonia is one of the most natural regions in the world as a consequence of its climatic conditions. At macro scale, Patagonia is located in the centre of the Westerly's and under permanent influence of polar air masses and fronts, recording maximum solid and liquid precipitation, and ice fields that are one of the Southern Hemisphere most relevant freshwater reserves. At mesoscale, this is a region where the Andes mountain chain reaches the Pacific Ocean throughout cliffs, fjords and Canals, causing

permanent snow and a big amount of glaciers. Each Patagonian landscape presents particular topoclimatic conditions that favor the conservation of nature and constraint anthropic actions. Climate change imply a meaningful precipitation reduction and increasing temperatures, producing a snowline elevation and therefore, glacier retreating. Consequently, a series of environmental perturbations can be observed, like deglaciation, unusual floods, and heat waves, lost of soil moisture and vegetation cover transformations. Climate pressures are forcing production practices changes and international hydropower companies are now interesting in the regional water like a strategic resource. Integral potentiating of global changes and economic globalization are really threatening even the existence of the Chilean Patagonia. However, there are not yet adequate adaption strategies.

Key words: Climate scales, climate change, Patagonia

INTRODUCCIÓN: La comprensión de los cambios climáticos y sus efectos sobre los paisajes y usos sociales de los territorios únicos y frágiles, como los templados fríos de la Patagonia chilena, están requiriendo informaciones científicas para la adopción de decisiones. Dichas informaciones deben integrar escalas espaciales y temporales. Este trabajo recopila e intenta integrar teleconexiones de macro escala que permiten describir, analizar y explicar las variaciones temporales de diferente duración (milenios, centurias y décadas) de los climas de la región patagónica chilena. Igualmente, selecciona y analiza variaciones climáticas interanuales y estacionales, que se representan a escala regional y subregional, enfatizando las relaciones topoclimáticas en ambientes de montañas y glaciares. Finalmente, selecciona variaciones de corto plazo (años y días) que influyen directamente en las modificaciones de los paisajes naturales y sociales.

MATERIALES Y MÉTODOS: Para los estudios de circulación general de la atmósfera se han empleado cartas del tiempo preparadas por la Dirección Meteorológica de Chile. Para la realización de los estudios climatológicos se utilizaron datos medios mensuales de treinta estaciones (13 climatológicas, seis termoplumiométricas y 11 pluviométricas), (Tabla 1). Para estudios de datos diarios se seleccionaron las cinco estaciones ubicadas en el área sur de la región de Aysén (Puerto Aysén, Coihayque, Balmaceda, Chile Chico y Cochrane), además de un modelo atmosférico global que combina observaciones de terreno, la banda infrarroja de imágenes satelitales y simulaciones numéricas a escala de 2,5 x 2,5 grados de latitud y

longitud, preparado por el National Center for Environmental Prediction Atmospheric Research desde 1948. Los datos diarios han permitido el análisis de la variabilidad registrada en 24 horas y la consideración de las probabilidades de excedencia de umbrales de temperaturas y precipitaciones máximas y mínimas (MONTECINOS y QUINTANA, 2007).

Nº	Estaciones	Tipo	Lat.	Long.	Altura (m)	Período
1	Futaleufú (DMC)	CLIM	-43.20	-71.82	317	1961-2000
2	Isla Guafo (SERVIMET)	CLIM	-43.57	-74.75	140	1975-2000
3	Alto Palena (DMC)	CLIM	-43.63	-71.78	281	1963-2000
4	Melinka (SERVIMET)	CLIM	-43.90	-73.77	5	1912-1923
5	La Junta (DGA)	PV	-43.96	-72.40	60	(*)
6	Pto.Puyuhuaqui (DMC)	PV	-44.32	-72.62	5	1961-2000
7	Río Cisnes (DGA)	CLIM	-44.48	-71.33	710	1961-1973
8	Pto. Cisnes (DGA)	PV	-44.75	-72.70	10	1943-1953
9	Villa Mañihuales (DGA)	TPV	-45.16	-72.15	400	(*)
10	Villa Ortega (DGA)	TPV	-45.36	-71.98	340	(*)
11	Pto. Aysén (DMC)	CLIM	-45.40	-73.67	10	1961-1995
12	Coyhaique Alto (DGA)	PV	-45.48	-71.60	770	1962-1968
13	Pto. Chacabuco (DGA)	PV	-45.48	-72.83	8	(7 años)
14	Coyahique Bajo (DGA)	PV	-45.53	-72.07	140	1920-1929
15	Coyahique Esc. Agric. (DMC)	TPV	-45.55	-72.03	343	1963-2000
16	Coyahique (DMC)	CLIM	-45.58	-72.12	310	1961-2000
17	Balmaceda (DMC)	CLIM	-45.90	-71.72	520	1961-2000
18	Pto. Ibañez (DGA)	PL	-46.28	-71.93	(*)	1961-1968
19	Chile Chico (DMC)	CLIM	-46.53	-71.68	327	1961-2000
20	General Carrera (DGA)	PL	-46.60	-71.72	212	1954-1967
21	Laguna San Rafael (DMC)	TPV	-46.62	-73.88	6	1981-1986
22	Pto. Cristal (DGA)	PL	-46.63	-72.37	(*)	1960-1968
23	Istmo de Ofqui (DGA)	PL	-46.73	-74.03	(*)	1938-1944
24	Cabo Raper (SERVIMET)	CLIM	-46.82	-75.62	76	1961-2000
25	Pto. Bertrand (DGA)	PV	-47.0	-72.8	100	(12 años)
26	Cochrane (DMC)	CLIM	-47.23	-72.55	182	1970-2000
27	Colonia Baker (DGA)	TPV	-47.33	-72.85	105	1963-1967
28	San Pedro (SERVIMET)	CLIM	-47.72	-74.92	22	1961-2000
29	Villa O'higgins (DMC)	TPV	-48.00	-72.45	6	1996-2004
30	Puerto Edén (DMC)	CLIM	-49.13	-74.42	6	1961-1968

Nota: (*) Sin Información

Tabla 1: Estaciones climáticas. Fuente: MONTECINOS, A. y QUINTANA, J., 2007.

El problema de la falta de datos es aún más relevante al intentar analizar las variaciones de largo plazo, que permitan apreciar la ocurrencia de cambios climáticos sobre una región tan sensible como Patagonia. La única posibilidad en este caso radica en el empleo del Global Historical Climatological Network, que produce informaciones seguras desde enero de 1950 a diciembre de 1999, a una escala de 1 grado de latitud por uno de longitud, y que son distribuidos por el Climate Research Centre de la Universidad de Delaware (MONTECINOS y QUINTANA, op.cit). A partir de ello, se han estimado las variaciones de las temperaturas y las precipitaciones medias anuales, de verano e invierno para el como sur sudamericano y se han comparado con las anomalías significativas de temperaturas superficiales del mar y de

Presión Atmosférica de Superficie, con el propósito de observar las posibles teleconexiones con los fenómenos Niños-Niñas y la Oscilación del Sur.

Las variaciones interanuales e interdecadales se han obtenido mediante filtros aplicados a los datos originales mensuales de precipitaciones y temperaturas. Para las variaciones decadales se ha aplicado dos veces filtros de cinco años y en el caso de los datos anuales filtros de tres veces pasados dos veces a los residuos entre las series originales y las decadales. Desde estas informaciones se han aplicado Análisis de Componentes Principales que explican la mayor cantidad de varianza de las precipitaciones y temperaturas regionales (MONTECINOS y QUINTANA, op.cit).

La ausencia de estaciones meteorológicas completas es una gran limitación, especialmente en la región sur de la Patagonia, dónde existen sólo registros pluviométricos y en algunos casos se registran datos de temperaturas máximas y mínimas. La cuenca del Río Baker, de cerca de 150 km de largo, posee 13 estaciones pluviométricas de las cuales sólo dos ubicadas en su parte superior son completas. La cuenca del Pascua dispone de una estación en su parte superior (Tenencia de Lago O'Higgins), una en su curso medio (Villa O'Higgins) y una próxima a la desembocadura (Bajo Pascua). Sin embargo, las estaciones de Río Pascua sólo han registrado datos durante los últimos tres años, por lo que su representatividad temporal debe ser analizada con precaución. Otro tanto sucede con la representatividad espacial, ya que dada la falta de informaciones, se ha hecho necesario realizar interpolaciones mediante los métodos de Kriging (MONTECINOS y QUINTANA, op.cit).

Las temperaturas de emisión superficial se calcularon empleando la banda 6 de la imagen Landsat TM del 03 de Febrero de 2005. Mediante la aplicación del modelo de cuerpo negro que incorpora el módulo THERMAL del Software Idrisi Andes a la información térmica (longitudes de ondas en el infrarrojo térmico o de radiación emitida), que contiene la banda 6 de este sensor, se obtiene la temperatura superficial en grados Celsius.

Respecto a las estadísticas hidrológicas (VARGAS et al., 2007), en el caso del río Baker (de 250 Km de largo), se cuenta con seis estaciones fluviométricas, pero sólo dos, Puerto Bertrand y río Colonia, disponen de datos por más de 30 años. Las otras cuatro (Chacabuco, Los Ñadis, Junta Baker y Río del Salto) fueron instaladas a mediados de 1970, Tres de ellas fueron retiradas en los años 1990 y 2000. En el río Pascua, de 60 Km de largo, se dispone de sólo dos estaciones para medir caudales. La primera se localiza en el desagüe del Lago O'higgins, donde se inicia el río y la segunda, en su sección media, en el Lago Quetru. La primera fue instalada en 1962 y la segunda en 1978. Los datos registrados permiten sólo una

aproximación dada su escasa representatividad espacial y temporal. En este último caso, además del corto plazo de registro, las fuentes han advertido una modificación de las series entre los datos registrados antes y después de 1975-1978, atribuida a un cambio en el régimen climático (INGENDESA, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: A macro escala se debe considerar el comportamiento de la Circulación General de la Atmósfera. La región se encuentra bajo el dominio de las masas de aire y frentes polar marítimo y una circulación ciclónica extratropical, que se interrumpe por la acción de la Alta Subtropical del Pacífico Sur, la que alcanza la mayor extensión geográfica y presión atmosférica en la primavera (septiembre, Romero, 1985; Fig.1). En verano (febrero) su presión es algo menor por la acción de las bajas termales continentales. En invierno (mayo) su configuración prácticamente desaparece (MONTECINO y QUINTANA, 2007a). El viento asociado al gradiente de presión del borde suroriental de la célula de alta presión produce el predominio de los Oeste. En verano los vientos soplan del SW debido al desplazamiento del anticiclón hacia el sur.

En términos de cambios climáticos de mediano plazo y mesoescala, el 25% de la región, en especial el sector continental al sur de 47° S y al este de 74° W, ha cambiado de un clima de Estepa Frío Lluvioso a uno Templado Frío con influencia oceánica o continental debido al apareamiento de a lo menos un mes con temperaturas >10° C. Los cambios principales se deben a un aumento leve de la temperatura que resulta de comparar el período 1977-1999 con el de 1950-1976. Las precipitaciones han disminuido significativamente en el sector occidental de la Patagonia.

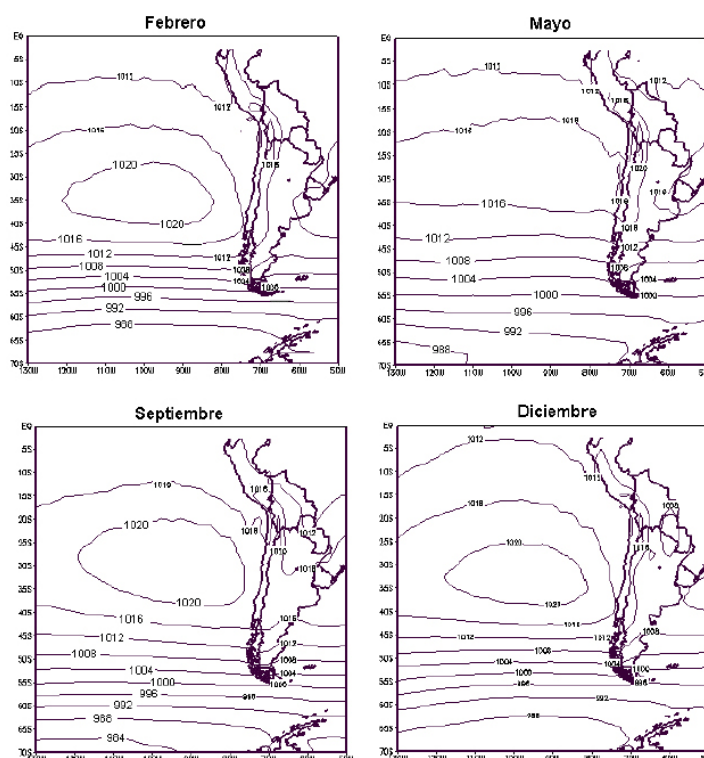


Figura 1: Campos medios de la presión a nivel del mar de los meses de febrero, mayo, septiembre y diciembre para el periodo 1991-2000 obtenido del Reanálisis. Fuente: MONTECINOS, A. y QUINTANA, J., 2007.

Durante el verano, la disminución de las precipitaciones, centrado a 49,5° S es de 500 mm y el aumento de la temperatura entre 0,6 y 0,7° C. En el invierno la disminución de las lluvias es de 350mm a 49,5° C y de 100 mm a 45° S.

El Componente Principal 1 explica el 54% de la Varianza Total de las variaciones interanuales, mientras que el CP1 de las variaciones decadales explica el 63%. Los intentos de relacionar estas variaciones temporales con las variaciones de las temperaturas superficiales del mar y los valores de presión atmosférica no han proporcionado correlaciones estadísticamente significativas (MONTECINOS y QUINTANA, 2007b).

Respecto a los factores geográficos de mesoescala, la oceaneidad debe ser considerada en primer lugar. La región es bañada por las aguas subantárticas de la Corriente de Humboldt, con temperaturas entre 8-9° C en invierno y 10-12° C en verano, que genera masas de aire que son transportadas cargadas de humedad hacia el continente, influyendo netamente sobre la zona costera que presenta temperaturas más moderadas, y mayor humedad y precipitaciones. Las zonas costeras presentan una temperatura media anual de 8° C y una amplitud anual de 5-6° C, mientras que las áreas alejadas del mar, alcanzan a 6° C como promedio y 10-11° C de amplitud anual.

En cuanto a la altura y exposición, las descargas máximas de precipitaciones se registran en franja de barlovento de la Cordillera de los Andes, bajo 200 m de altura (>2000 mm anuales) para disminuir a < 1600 mm sobre 300 m (Figuras 2 y 3). En cuanto a las temperaturas, la isoterma 0° C se sitúa sobre los 2400 m entre los 45 y 40°S todo el año.

Las precipitaciones varían entre más de 4000 mm anuales en la vertiente de barlovento de la Cordillera de los Andes a menos de 1000 mm en las áreas protegidas de sotavento. El gradiente máximo observado se registra entre Aysén y Balmaceda y alcanza a aproximadamente 2000mm/100 Km.

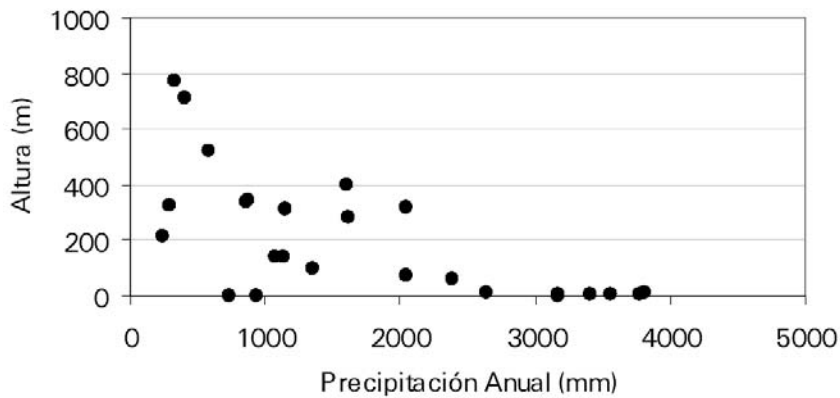


Figura 2: Precipitación media anual em mm em función de la altitud. Fuente: MONTECINOS, A. y QUINTANA, J., 2007.

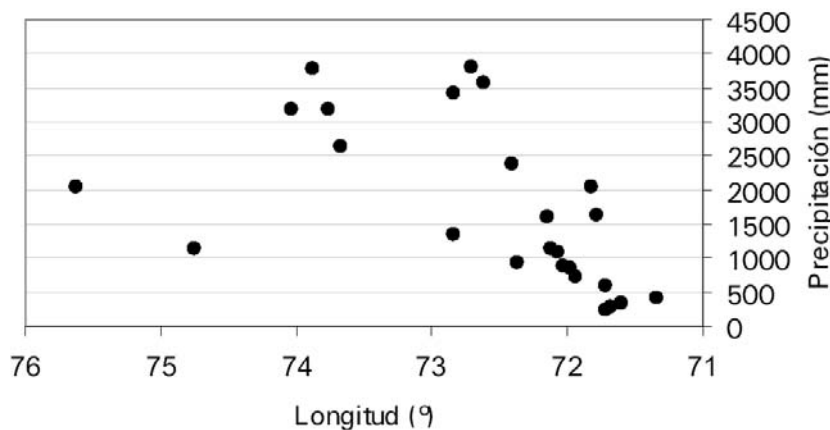


Figura 3: Precipitación media anual em mm em función de la longitud. Fuente: MONTECINOS, A. y QUINTANA, J., 2007.

En lo referente al comportamiento mensual de las precipitaciones, éstas están presentes todo el año pero registran máximos en los meses de invierno austral, alcanzando a 20 días en las áreas costeras, para reducirse a menor de 10 hacia el interior del continente. Pueden existir hasta diferencias de tres veces entre la cantidad de lluvias registradas en un mes en estaciones de la costa y del interior. Los días y la cantidad de lluvias siempre son mayores en el invierno. Respecto a los días sin precipitación, son más frecuentes en las localidades del interior y en la estación de verano.

La cantidad de lluvia diaria es también mayor en las zonas costeras y disminuye sistemáticamente hacia el interior. Algo similar ocurre en el número de días o eventos pluviométricos registrados en 10 años que superan valores entre 20 y 100 mm por día. En

Aysén se registran 460 eventos con lluvias superiores a 20 mm y en Balmaceda y Chile Chico, apenas 52 y 19 respectivamente.

De igual manera la duración de los eventos de lluvias en número de días varía substancialmente entre las estaciones de invierno y verano. Los eventos de duración menor a un día son más frecuentes en verano y los que duran dos o más días lo son en el invierno. Los eventos de lluvias de invierno son relativamente mayores que los de verano y registran lluvias significativamente más altas.

Respecto a los días sin precipitaciones, se presentan con escasa frecuencia y de corta duración en invierno pero son más frecuentes y de larga duración en verano. En esta última estación se igualan en Cochrane. Los períodos sin precipitaciones con duración de una o dos semanas se presentan solamente en verano.

Los días y eventos con temperaturas cálidas son mayores en el interior que en la costa. En Cochrane se registran en promedio 54 días en un año en que la temperatura máxima supera los 20° C, 10 en que sobrepasa los 25 y 1 en que supera los 30° C. En Chile Chico corresponde a 91, 24 y 3 respectivamente (tabla 2).

Los días con temperaturas mínimas aumentan hacia el interior y hacia el sur y los días de heladas (>0° C) también, disminuyen de 20 días en el año en Cochrane a 8 en Aysén. Respecto a los eventos o número de días con temperaturas mínimas <0° C, alcanzan a 88 en Cochrane y 30 en Aysén. Los días con temperaturas <10° C alcanzan a 1 en Cochrane y no se registran en Aysén. Los días inferiores a -15° C corresponden a 0,1 en Cochrane.

Las precipitaciones sólidas estimadas como días con precipitaciones líquidas y temperaturas mínimas iguales o inferiores a 0° C son mayores en Cochrane y Balmaceda que en las otras estaciones y no se registran nunca en verano.

Umbral (°C)	Aysén	Coyhaique	Balmaceda	Chile Chico	Cochrane
20	30	45	32	91	54
25	4	10	6	24	10
30	0,4	1	0,5	3	1

Tabla 2: Número de eventos (días) en un año con temperaturas máximas iguales o superiores al umbral indicado para las distintas estaciones. Fuente: MONTECINOS, A. y QUINTANA, J., 2007.

La topoclimatología de escala local y la latitud explican la distribución de los datos climatológicos al interior de las cuencas de los ríos Baker y Pascua, las precipitaciones

anuales varían en el primero entre 400 mm registrado al norte y 1800 mm en Lago Varga, en su curso inferior. La zona baja de la cuenca (Los Ñadis y Lago Vargas) precipita 206% más que la zona media (Puerto murta-Cochrane) y 225% más que la zona alta (Villa cerro Castillo-Puerto Bertrand-Entrada Baker). Las temperaturas también varían a lo largo de la cuenca. Alcanzando una diferencia de 3-4° C entre la parte alta y baja en verano y disminuyendo a 1° C en invierno.

La continentalidad y el avance hacia el sur son rasgos característicos de la parte norte y central de esta cuenca, que termina desembocando a latitudes más altas pero en el mar. Eso hace que las temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias sean más altas en la parte superior, disminuyan en su parte central y aumenten nuevamente cerca de su desembocadura.

En el caso del río Pascua, las precipitaciones de la parte alta alcanzan 820 mm anuales y aumentan a 2700 en su desembocadura. El número de días de lluvia promedio al año alcanza a 113 en la parte alta y aumenta a 230 días en la parte baja. En el mes de mayo, que es el más lluvioso, en la parte baja llueven 23 días y en la parte alta sólo 11. Durante los meses de mínimas lluvias (febrero y septiembre-octubre) los días de lluvia en la parte alta alcanzan a 11 y a 16-17 en la parte baja.

En cambio, la distribución de las temperaturas es muy homogénea en el río Pascua. La diferencia entre las temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias es cercana a 1°C. La temperatura media de la parte alta en verano es de 10-12°C y en invierno alcanza a 1-2°C. La temperatura máxima media alcanza a 15-16°C en verano en la parte alta y 4-5°C en invierno. La mínima media es de 7°C en verano y de -1°C en invierno.

La figura 4 presenta la distribución de las temperaturas superficiales de emisión de la superficie del suelo, como son captadas por las imágenes satelitales en la banda infrarroja termal, sobre el sector oriental de la Provincia Capitán Prat, resaltando las cuencas de los valles de los ríos Pascua y Baker. Es posible reconocer tres hechos fundamentales: en primer lugar el predominio de los campos de hielo en la generación de áreas de temperaturas muy bajas y la proyección de las masas de aire frío hacia las tierras bajas a través de lenguas glaciares y cursos superiores de los valles. En segundo lugar, el control de los cauces de los valles en la generación de áreas más cálidas en verano- y de acumulación de frío e inversiones térmicas radiativas en invierno-. En tercer lugar, las laderas de los sistemas montañosos, que registran temperaturas de emisión relativamente templadas.

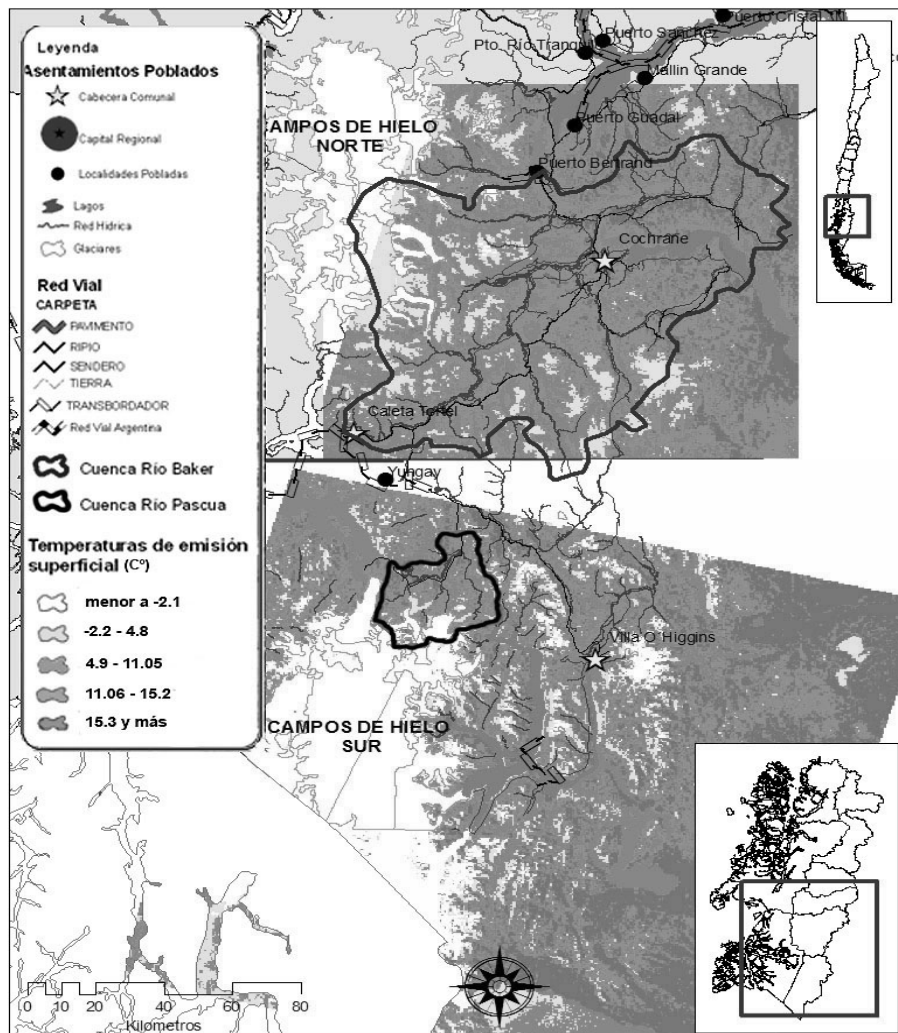


Figura 4: Distribución de las temperaturas superficiales Región de Aysén (2005).

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento de Imagen Lansat año 2005.

Espacialmente es necesario ratificar, entonces, que se trata de una topoclimatología de cuencas, en que los cambios y perturbaciones que ocurren en algunas de sus secciones o componentes, repercutirán indudablemente en el resto del sistema ambiental. Por otro lado, la topoclimatología prevaleciente en los valles obliga a prestar mucha atención a la sensibilidad ante cambios en los usos y coberturas de los suelos. En particular se debe advertir la importancia de los vientos y brisas locales –en especial los de lago (y eventualmente de embalses) a continente y los de valle a montaña- y de las inversiones térmicas y estabilidad de las capas atmosféricas límites. La existencia de estaciones meteorológicas convencionales, de limitado alcance espacial y temporal, las torna absolutamente insuficientes como fuente de entendimiento de las variaciones topoclimáticas.

Desde luego, que bajo estas complejas condiciones climáticas, los climas de las regiones templadas adquieren gran importancia en el comportamiento de los recursos hídricos. Respecto a los caudales medios anuales, se observa una clara tendencia a su disminución, que no representa necesariamente los cambios en la variabilidad que se aprecia a partir de 1975. La desviación estándar antes de esa fecha era de 39 m³/seg y después, ha alcanzado a 70m³/seg. Cuando se analizan las variaciones de los caudales registrados en invierno y verano, se observa que las variaciones mayores se registran en el invierno, cuando el río depende de las lluvias, mientras que en verano, cuando depende del derretimiento de nieves y glaciares, permanece estable. El aumento de las temperaturas, la reducción de las precipitaciones y el consecuente retroceso de los glaciares estaría significando un aumento de la variabilidad interanual de los caudales debido a que se están registrando lluvias en vez de nevazones en las áreas de captura de las cuencas. La evolución de los caudales medios anuales del río Pascua no muestra una tendencia significativa, pero sus datos también manifiestan un cambio en su variabilidad estacional.

Respecto a los glaciares, se han inventariado treinta cuerpos principales al interior de los Campos de Hielo Norte y Sur, que contienen una totalidad de 57 glaciares, observables a una escala 1: 100.000 (SOTO y CASTRO, 2007). De ellos sólo tres son glaciares de valle y el resto afluentes de cuerpos mayores. Si se considera el período 1979-2006 para los glaciares ubicados en el Campo de Hielo Norte, el retroceso lineal alcanzó a 11,50 Km, y el retroceso areal a 80,17 Km², a tasas anuales de retroceso de 0,43 Km/año y 2,97 Km²/año, respectivamente. En el período 2001-2006, el retroceso glacial aumenta considerablemente: el retroceso lineal fue a una tasa de 0,73 Km/año y el areal, de 7,83 Km/año.

En el caso del Campo de Hielo Sur en el período 1973-2004, se seleccionaron algunos glaciares (Montt, Pascual Lucía y Oriental, que se ubican en las cercanías de las obras hidroeléctricas propuestas). En dichos glaciares, la distancia de retroceso lineal fue de 13,65 Km, a una tasa anual de 0,44 Km/año; el área de retroceso alcanzó a 129,07 Km², a una tasa anual de 4,17 Km²/año. Sin embargo, los máximos retrocesos se han registrado en los últimos años (2001-2004), alcanzando a 6,49 Km/año de distancia lineal y 4,17 Km²/año de tasa areal (SOTO y CASTRO, op.cit).

Sólo los glaciares Nef, del Campo de Hielo Norte, y el Mellizo Sur, del Campo de Hielos Norte, experimentaron ligeros crecimientos en los últimos años.

Para SOTO y CASTRO (op.cit) los retrocesos glaciares son generalizados, presentándose diferencias en los montos y tasas anuales en función de las características topográficas y dinámicas, pero independientemente de las condiciones climáticas. La pérdida de masas de hielo más importante ocurre en los grandes cuerpos glaciares que presentan frentes desprendentes, que pierden sustentación basal y que presentan lenguas flotantes que aumentan considerablemente el efecto de calving.

Estacionalmente, los ríos de régimen nivoglacial presentan mínimos caudales a comienzos de primavera (septiembre) y máximos-que duplican los anteriores- en el medio del verano (febrero), (VARGAS et al., 2007)). Aguas abajo los caudales aumentan gradualmente y mínimos se adelantan, pudiendo llegar hasta julio y los máximos lo hacen hasta enero, como consecuencia de la mayor o menor incidencia de los ríos nivoglaciales tributarios. En el río Pascua, debido al aumento de latitud y al menor calor acumulado, el máximo se retrasa para el mes de marzo.

Los paisajes de los principales ríos de la región han sido alterados desde el comienzo de la colonización a principios del siglo XX, en especial por el interés de introducir la agricultura y la ganadería y aumentar las cargas animales lo más posible (MANCILLA y FUENTES, 2007). En el caso del río Baker, cerca del 55% de la superficie de la cuenca permanece inalterado, correspondientes a las áreas cubiertas por campos de hielo y glaciares la mayor parte. Las áreas alteradas corresponden por su parte, a bosques, matorrales achaparrados y praderas naturales alteradas (MANCILLA y FUENTES, op.cit). La erosión de suelos causada por las fuertes precipitaciones, inclinadas pendientes de laderas y circulación de masa ganadera, son una importante causa de la degradación ambiental observada.

En el caso del valle del Río Pascua también se evidencia el impacto de los incendios forestales que acompañaron los intentos de colonización. En este valle también cerca del 50% de la superficie de la cuenca aparece como no alterada, resaltando en primer lugar los campos de hielo y glaciares (17%). En este valle y debido a las dificultades de accesibilidad, se hallan más de 26.000 Hás de bosques inalterados, a los que se deben adicionar otras 20.000 Hás de matorrales y praderas inalteradas y más de 90.000 Hás no clasificadas. Las áreas alteradas comprenden cerca de 190.000 Hás de bosques, matorrales y praderas naturales intervenidas (MANCILLA y FUENTES, op.cit)

Siendo los recursos hídricos la principal atracción de los inversionistas regionales, es conveniente señalar que 70 derechos de agua correspondientes a 2000 m³/s han sido otorgados hasta el año 2003 en el río Baker, momento en que se congeló su distribución. De

éstos, 2.072.400 l/s o el 99,75% han sido concedidos a empresas hidroeléctricas. Para el año 2006, la empresa hidroeléctrica española Endesa era propietaria del derecho de captación de 2.729.799 l/s o el 97,7% del total, excluyendo caudales ecológicos, destinados a fines no consuntivos. Los derechos no consuntivos permanentes y continuos pertenecen casi totalmente a empresas hidroeléctricas. En el río Pascua se han asignado 711.531 l/s, de los cuales el 99,99% son de uso no consuntivo y el 95,57 es de propiedad de Endesa.

La ocurrencia de ondas de crecidas es relevante en ríos de alimentación glacionival, especialmente si aumentan las temperaturas máximas y las ondas de calor. En general, los caudales de ondas de crecida del río Baker pueden elevar entre 50 y 100% los caudales base diarios, ocupar entre 36 horas y dos días en presentarse y necesitar entre dos y cinco días para volver al flujo basal, en todos los casos aumentando aguas abajo. En el río Pascua las ondas de crecida son insignificantes en su nacimiento, dada la regulación introducida por el Lago O'Higgins. A mediados de su curso llega a superar en un 30% el flujo base y requerir 15 horas para su recuperación.

CONCLUSIONES: La Patagonia chilena esta siendo severamente afectada por los cambios climáticos. Las precipitaciones han disminuido significativamente y las temperaturas han aumentado, especialmente las temperaturas máximas y la ocurrencia de ondas de calor, todo lo cual tiene una gran influencia sobre el retroceso de los glaciares y sus pérdidas de superficie. Estos cambios climáticos están en definitiva afectando la disponibilidad de agua y acentuando la variabilidad de los caudales de los ríos, especialmente en la estación de invierno. Las mayores e irregulares lluvias de invierno están cayendo en forma líquida debido al aumento de las temperaturas y por ello impactando los regímenes fluviométricos anuales.

Hasta el momento, no resulta posible asociar las variaciones climáticas observadas sobre la Patagonia chilena, con el comportamiento de las temperaturas superficiales del mar y de la presión atmosférica, que caracterizan especialmente la ocurrencia de los fenómenos Niño/Niña en estas altas latitudes. Todas las evaluaciones de los datos estadísticos de variables climáticas y pluviométricas reconocen un importante cambio que ha tenido lugar entre 1975 y 1978 y que se ha prolongado hasta la actualidad. Dicho cambio ha alterado las variaciones interanuales aumentando significativamente la variabilidad de los datos en el

tramo 1978-2006. Estos cambios han sido asociados a la mayor frecuencia y ocurrencia de los eventos el Niño-Oscilación del Sur.

Las variaciones interanuales y decadales explican la mayor parte de la varianza de las temperaturas y precipitaciones, debiendo explorarse la correlación con otros fenómenos de macro escala, tales como los índices de variación decadal del Pacífico Sur y los cambios en la circulación atmosférica antártica.

A mesoescala son la latitud, la oceaneidad y las exposiciones de laderas y valles ante los flujos de masas de aire predominantes, los factores que permiten explicar rasgos ambientales y paisajísticos relevantes, tales como la presencia de nieves y glaciares en la parte alta de las montañas, la existencia de impresionantes gradientes pluviométricos en el sentido Oeste-Este y la existencia de importantes diferencias al interior de los valles.

La complejidad orográfica contribuye a articular espacialmente a las cuencas que drenan la región, destacando la asociación espacial entre los campos de hielo y glaciares, ubicados en las cumbres y altiplanicies de la cordillera de los Andes, los valles y laderas de las montañas y los ríos, lagos y arroyos. Todos ellos conforman complejos sistemas territoriales que deben ser evaluados cuidadosamente antes de intervenir los paisajes que hasta ahora han permanecido bajo una presión antrópica más bien limitada, no obstante las degradaciones introducidas desde la colonización, a comienzos del siglo XX. Cerca del 50% del territorio que comprenden las cuencas de los ríos Baker y Pascua permanecen en estado prístino, estando ocupados por nieves y glaciares, bosques, matorrales y praderas naturales. La protección de estas tierras es fundamental para incrementar la resiliencia ante los cambios y mantener la integridad ecológica de los paisajes.

Los paisajes patagónicos comienzan a ser apropiados y administrados por empresas transnacionales ocupadas de explotar los recursos naturales y que se concentran en las áreas que poseen mayor cantidad, calidad y estabilidad de las aguas dulces. Las autoridades y sociedades de los países latinoamericanos parecen no comprender el valor estratégico de estos componentes ambientales y la necesidad de preservarlos, conservarlos y administrarlos sabiamente.

REFERENCIAS

INGENDESA 2006. Centrales de los ríos Baker y Pascua. Estudio Hidrológico realizado por ENDESA S.A.

MANCILLA, G. y FUENTES, J.P. 2007, Suelos. Línea de Base del Medio Físico en el Área del Proyecto Hidrológico Aysén. Informe Final. Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2007: 1-243.

MONTECINOS, A, y ACEITUNO, P. 2003. Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in Central Chile and associated circulation anomalies. Journal of Climate, 16: 281-296.

MONTECINOS, A. y QUINTANA, J. 2007. Clima y Meteorología, Línea de Base del Medio Físico en el Área del Proyecto Hidrológico Aysén. Informe Final. Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2007:1-74.

MONTECINOS, A. y QUINTANA, J. 2007a, Evaluación de los cambios en las condiciones meteorológicas en la XI Región de Aysén. Informe Final. Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. Estudios Específicos. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2007:43-69.

ROMERO, H. 1985. Geografía de los Climas de Chile. Colección Geografía de Chile, Tomo IX, Instituto Geográfico Militar, Santiago de Chile.

SOTO, M.V. y CASTRO, C.O. 2007. Retroceso Glacial. Línea de Base del Medio Físico en el Área del Proyecto Hidrológico Aysén. Informe Final. Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. Estudios Específicos. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2007:

VARGAS, X.; TAMBURINO, A.; NIÑO, Y. y MCPHEE, J. 2007. Hidrología. Línea de Base del Medio Físico en el Área del Proyecto Hidrológico Aysén. Informe Final. Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 2007: 1-209