

UNIVERSIDAD DE LA SERENA FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO INGENIERIA DE MINAS

CAMBIO CLIMÁTICO: VULNERABILIDAD, ADAPTACIÓN Y ROL INSTITUCIONAL. ESTUDIO DE CASOS EN EL VALLE DE ELQUI.

Memoria para optar al título de INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

Profesores Guía: Dra. Melitta Fiebig-Wittmack Dr. Jorge Oyarzún M.

CÉSAR ALESSANDRO PÉREZ VALDIVIA

La Serena, 2005.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al proyecto "Institutional Adaptation to Climate Change" por darme la posibilidad de desarrollar este trabajo y trabajar en un grupo multidisciplinario. Agradezco al proyecto FONDECYT STRATOSPHERE-TROPOSPHERE EXCHANGE PROCESSES AND THEIR IMPACT ON THE OZONE BALANCE IN THE SUBTROPICS OF THE SOUTHERN HEMISPHERE: A MULTI-SCALE INTEGRATED STUDY BASED AT CERRO TOLOLO (30°S, 70°W, 2200 M.A.S.L) por apoyar este trabajo y darme la oportunidad de integrarme al grupo de trabajo.

Deseo agradecer a la Dirección General de Aguas, a su director Regional el Sr. Carlos Galleguillos por dar su apoyo y facilitar la información hidrometeorológica para realizar este trabajo. Agradecer al Sr. Gustavo Freixas por el apoyo técnico y su colaboración.

Agradecer al la Dra. Sra. Melitta Fiebig-Wittmack por darme la oportunidad de trabajar con ella, entregarme su apoyo y orientación para realizar este trabajo. Al Dr. Sr. Jorge Oyarzún por su apoyo y orientación no solamente en este trabajo, sino a lo largo de toda la carrera profesional.

Agradezco a CAZALAC a la Junta de Vigilancia del Río Elqui y a todos los que colaboraron en este trabajo.

¡Muchas Gracias!

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado para:

Mis padres, César Pérez Moreno y María Isabel Valdivia Campos, por darme la formación y las herramientas para llegar a ser la persona que soy. En especial a esa gran mujer que es mi madre.

A mi hermana y mis sobrinas, Fabiola, Valeria y Camila, por su apoyo incondicional que me han dado durante toda la vida.

A mi polola María de los Angeles González Santiago, por su amor y apoyo incondicional.

ÍNDICE

Abstract	7
Resumen	8
Introducción	
CAPÍTULO I	
I Decripción general del área de estudio	11
1.1 Cuenca del río Elqui	11
1.1.1 Río Turbio	12
1.1.2 Cuenca del río Claro	13
1.1.3 Cuenca del valle del río Elqui	14
1.2 Climatología de la Región	
1.2.1 Clima de la cuenca del río Elqui	
1.2.2 Estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Elqui	
1.2.3 Análisis de las precipitaciones	
1.3 Hidrología e hidrogeología	
1.3.1 Estaciones fluviométricas.	
1.3.1.1 Características de las estaciones fluviométricas	27
1.3.2 Análisis de caudales.	
1.4 Hidrogeología	31
1.5 Infraestructura hídrica	
1.5.1 Embalse La Laguna	
1.5.2 Embalse Puclaro	
.5.3 Canales de riego	
1.6 Geología y geomorfología	
1.7 Suelos	
1.8 Población.	
1.8.1 Actividades económicas.	
1.9 Demanda de recursos hídricos	
CAPÍTULO II	
Il Efecto Invernadero y Cambio Climático	43
2.1 El efecto invernadero.	
2.1.1 Historia del efecto invernadero (EI)	
2.2 Forzamiento radiativo, agentes de forzamiento climático y gases o	
invernadero	
2.2.1 Gases de efecto invernadero (GEI).	47
2.3 Cambios observados en las concentraciones de GEI.	51
2.3.1 Dióxido de carbono (CO ₂)	
2.3.2 Metano (CH ₄)	
2.3.3 Oxido nitroso (N_2O)	
2.3.4 Halocarbonos y compuestos relacionados.	
2.3.5 Ozono atmosférico (O_3)	
2.4 Gases con influencia radiativa indirecta	55 55
2.4.1 Aerosoles.	
,	

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2.5 Cambios observados en otros agentes de forzamiento	56
2.5.1 Cambios en el uso del suelo	
2.5.2 Cambios en la actividad solar y volcánica	56
2.5.3 Cambios observados en las temperaturas y las precipitaciones	
2.5.4 Cambios observados en el nivel del mar.	60
2.6 Potenciales del calentamiento de La Tierra	60
CAPÍTULO III	
III El Niño, La Niña y Variables Climáticas de la Cuenca	63
3.1 El Fenómeno de El Niño Oscilación Sur	
3.1.1 Orígenes de El Niño	65
3.1.2 Clasificación del ENSO.	
3.1.3 ENSOS históricos y paleo-ENSO	
3.2 La Niña	
3.3 Las precipitaciones	
3.4 Caudales en la cuenca de Elqui.	
3.4.1 Anomalías de los caudales medios anuales	
3.5 Temperaturas.	
3.5.1 Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales	
3.5.2 Anomalías de las temperaturas medias, máximas y mínimas anuales	
3.5.2.1 Anomalías de las temperaturas medias	
3.5.2.2 Anomalías de las temperaturas mínimas	
3.5.2.3- Anomalías de las temperaturas máximas.	
3.6 Evaporación potencial	
3.6.1 Evaporación potencial mensual.	
3.6.2 Evaporación potencial anual	
3.6.3 Anomalías de la evaporación potencial	
3.7 Índice de aridez de Martonne.	
CAPÍTULO IV	
IV Principales Eventos Catastróficos en la historia de la Región	96
4.1 Tipos de eventos catastróficos en la región.	
4.1.1 Inundaciones	
4.1.2 Remoción en masa.	
4.1.3 Sequías	98
4.1.3.1 Tipos de sequías	
4.2 Eventos catastróficos a lo largo de la historia	
4.3 Ocurrencia histórica de la sequía en la IV Región	
4.4 Ocurrencia histórica de inundaciones (Conte, 1986)	
4.5 Deslizamientos de tierra	
4.6 Estudios de casos.	
4.6.1 Temporal de 1984	
4.6.1.1 Consecuencias del temporal	
4.6.2 Sequía de 1994, 1995 y 1996	
4.6.3 Temporales de 1997	

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO V

V Modelos Climáticos, Escenarios de Emisiones de GEI y Escenarios Climáticos	120
5.1 Modelos climáticos	
5.2 Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	122
5.2.1 Clasificación de los escenarios	
5.2.2 Descripción de los escenarios	125
5.2.3 Fuerzas determinantes de las emisiones de GEI.	125
5.3 Datos generados por los distintos escenarios de emisiones	
5.4 Gases de efector invernadero según su escenario.	
5.5 Escenarios climáticos	
5.5.1 Escenarios climáticos proyectados anteriormente	
5.5.1.1 Resultados	
5.6 Herramientas para la generación de escenarios.	
5.6.1 Centro canadiense para la modelación y análisis del clima	
5.6.2 Magicc y Scengen	
5.7 Downscaling	
5.7.1 Técnicas de downscaling.	
5.7.2 Métodos de downscaling.	
5.8 Futuros escenarios climáticos para el valle de Elqui	
5.8.1 Elaboración de escenarios	
5.8.2 Descripción de los escenarios.	
5.8.3 Cálculo de la probabilidad de las precipitaciones y periodo de retorno	
CAPÍTULO VI VI Vulnerabilidades, Impactos y Capacidad de Adaptación 6.1 Caracterización de las vulnerabilidades. 6.2 Escenarios de precipitaciones y sus impactos. 6.3 Capacidad de adaptación y rol institucional.	166 168
CAPÍTULO VII	
Conclusiones	
Referencias	
Anexos	190
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1.1: Cuenca del río Elqui.	11
Figura 1.2: Cuenca del Río Elqui y sectores seleccionados	 12
Figura 1.3: Anticiclón del Pacífico	15
Figura 1.4: Variación de la precipitación con la altura	
Figura 1.5: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la cuenca	. 10 12h
Valle de Elqui	
Figura 1.6: Precipitaciones en La Serena (1869-2003)	. ∠∪ 2⊿
Figura 1.7: Promedios móviles de 30 años (La Serena)	
Figura 1.8: Precipitaciones en La Serena, Vicuña, Rivadavia y Monte Grande. Perioc	
1959-2003. "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.	. <u>2</u> 0

Figura 1.9: Precipitaciones periodo 1980-2003.	25
Figura 1.10: Promedio mensual de las precipitaciones, calculado en base a los regis	tros
del periodo1980-2003	
Figura 1.11: Distribución de las estaciones fluviométricas.	27
Figura 1.12: Caudales medios mensuales	
Figura 1.13: Caudales medios mensuales, año hidrológico	
Figura 1.14: Características hidrogeológicas de la cuenca del río	
Figura 1.15: Geología de la cuenca de Elqui	36
Figura 2.1: Balance de energético de la Tierra	
Figura 2.2: Espectro de radiación solar.	
Figura 2.3: Agentes de forzamiento IPCC 2001.	46
Figura 2.4: Concentración de Co ₂	48
Figura 2.5: Reservas y flujos del ciclo del carbón	
Figure 2.6: Concentraciones atmosféricas de CO. CH. v.N.O.	40 40
Figura 2.6: Concentraciones atmosféricas de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	
Figura 2.7: Concentración de Sulfatos	
Figura 2.8a: Ritmo de incremento mundial del metano	52
Figura 2.8b: Variaciones de las concentraciones de metano	
Figura 2.9: Variación de la temperatura anual	
Figura 2.10: Tendencia de la temperatura anual.	
Figura 2.11: Tendencia de las precipitaciones	
Figura 3.1: Precipitación en La Serena y eventos Niño	
Figura 3.2: Precipitaciones en La Serena desde 1869 y eventos Niña	
Figura 3.3: Precipitaciones en La Serena (1869-2003), años Niño y años Niña	75
Figura 3.4: Anomalías de las precipitaciones en La Serena	75
Figura 3.5: Anomalías de las precipitaciones en %, La Serena	76
Figura 3.6: Anomalías de las precipitaciones La Serena, Vicuña, Rivadavia, Me	onte
Grande, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna	77
Figura 3.7: Ubicación de las estaciones fluviométricas.	78
Figura 3.8: Caudales medios anuales periodo 1914-2003	
Figura 3.9: Promedios móviles de 20 años	
Figura 3.10: Anomalías de los caudales	
Figura 3.11: Caudales medios anuales en la bocatoma de los canales de regadío	
Figura 3.12: Promedios móviles de 20 años (caudales de ragadio)	
Figura 3.13: Nieve Acumulada en cm periodo1981-2003 CMEI	-
Figura 3.14: Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales	
Figura 3.15: Anomalías de la temperatura media anual	
Figura 3.16: Anomalías de la temperatura mínima anual	
Figura 3.17: Anomalías de las temperaturas máximas	
Figure 3.18: Evaporación potencial media mensual	
Figura 3.19: Evaporación potencial anual	
Figura 3.20: Anomalías de la evaporación potencial	
Figura 4.1: Relación entre los tipos de sequía	
Figura 4.2: Precipitaciones durante el mes de julio de 1984	
Figura 4.3: Precipitaciones durante los once primeros días del mes de julio de 1984.	
Figura 4.4: Precipitaciones anuales periodo 1993-1996	
Figura 4.5: Precipitaciones de los meses de junio, julio y agosto de 1997	
Figura 4.6: Precipitaciones durante los días 10, 11, 12 y 13 de junio de 1997	
"Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005	5.

Figura 4.7: Precipitaciones durante los días 17, 18, 19, 20, y 21 de junio 1997	. 115
Figura 4.8: Precipitaciones durante los días 15, 16, 17 y 18 de agosto de 1997	. 117
Figura 5.1: Elaboración de modelos climáticos: pasado, presente y futuro	. 112
Figura 5.2: Escenarios de emisiones	. 124
Figura 5.3: Emisiones mundiales de dióxido de carbono	. 128
Figura 5.4: Emisiones totales de CO ₂ , acumulativas mundiales enGtC	. 129
Figura 5.5: Escenarios agrupados por emisiones acumulativas	. 129
Figura 5.6: Emisiones antropogénicas de CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O y SO ₂	
Figura 5.7: Concentraciones atmosféricas de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	
Figura 5.8: Escenario futuro para las precipitaciones	
Figura 5.9: Precipitación anual para el escenario actual (1999)	
Figura 5.10: Variación de la temperatura a lo largo del país	
Figura 5.11: Precipitación en mm/día año 2004.	
Figura 5.12: Precipitación en mm/día año 2005.	
Figura 5.13: Precipitaciones en mm/día año 2010	
Figura 5.14: Precipitaciones en mm/día año 2015	
Figura 5.15: Precipitación para el mes de enero en mm/día año 2005	. 142
Figura 5.16: Precipitación para el mes de febrero en mm/día año 2005	
Figura 5.17: Precipitaciones para el mes de junio en mm/día año 2005	
Figura 5.18: Precipitaciones para el mes de julio en mm/día año 2005	
Figura 5.19: Precipitaciones medias mensuales para el periodo 1980-2003	
Figura 5.20: Metodología para la elaboración de escenarios.	
Figura 5.21: Probabilidad acumulada esperada y acumulada observada	
Figura 5.22: Probabilidad de que las precipitaciones mensuales sean menores a	2 v 5
	. 161
mm	. 161
mm	. 161
mm Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS	. 161 . 173
mmFigura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca	. 161 . 173 20
mm Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas. Tabla 1.2: Características estaciones fluviométricas	. 161 . 173 20 27
mm Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas.	. 161 . 173 20 27 39
mm	. 161 . 173 20 27 39 39
mm	161 173 20 27 39 39
mm	20 27 39 39 40
indication figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca indication figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca indication figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca indication figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca indication figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca indication figura de la cuenca	20 27 39 39 40 41
indice de agua total de la cuenca Indice de la cue	20 27 39 40 41 61
indice de agua total de la cuenca	20 27 39 40 41 61 67
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas. Tabla 1.2: Características estaciones fluviométricas. Tabla 1.3: Censos de 1992 y 2002. Tabla 1.4: Porcentaje de población urbana y rural. Tabla 1.5: Distribución de la fuerza laboral por actividades 1990-1999. Tabla 1.6: Demanda actual y futura de agua. Tabla 2.1: Potenciales del calentamiento de La Tierra. Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de eventos ENSO. Tabla 3.2: ENSO Históricos. Tabla 3.3: Eventos ENSO y sus efectos para el periodo 1768-1992.	20 27 39 40 41 61 67 69
indice de agua total de la cuenca	20 27 39 40 41 61 67 69 72
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca	20 27 39 40 41 67 67 69 72
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas. Tabla 1.2: Características estaciones fluviométricas. Tabla 1.3: Censos de 1992 y 2002. Tabla 1.4: Porcentaje de población urbana y rural. Tabla 1.5: Distribución de la fuerza laboral por actividades 1990-1999. Tabla 1.6: Demanda actual y futura de agua. Tabla 2.1: Potenciales del calentamiento de La Tierra. Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de eventos ENSO. Tabla 3.2: ENSO Históricos. Tabla 3.3: Eventos ENSO y sus efectos para el periodo 1768-1992. Tabla 3.4: Listado de fenómenos El Niño y La Niña. Tabla 3.5: Clasificación anual de Martonne. Tabla 3.6: Clasificación mensual de Martonne.	20 27 39 40 61 67 69 72 93 93
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca	20 27 39 40 61 67 69 72 93 93
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas. Tabla 1.2: Características estaciones fluviométricas. Tabla 1.3: Censos de 1992 y 2002. Tabla 1.4: Porcentaje de población urbana y rural. Tabla 1.5: Distribución de la fuerza laboral por actividades 1990-1999. Tabla 1.6: Demanda actual y futura de agua. Tabla 2.1: Potenciales del calentamiento de La Tierra. Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de eventos ENSO. Tabla 3.2: ENSO Históricos. Tabla 3.3: Eventos ENSO y sus efectos para el periodo 1768-1992. Tabla 3.4: Listado de fenómenos El Niño y La Niña. Tabla 3.5: Clasificación anual de Martonne. Tabla 3.7: Valores de los índices mensuales de Martonne.	20 27 39 40 67 67 69 72 93 94 94
Figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca	20 27 39 40 67 67 69 72 93 94 94 95
figura 6.1: Demanda agronómica de agua total de la cuenca ÍNDICE DE TABLAS Tabla 1.1: Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas. Tabla 1.2: Características estaciones fluviométricas. Tabla 1.3: Censos de 1992 y 2002. Tabla 1.4: Porcentaje de población urbana y rural. Tabla 1.5: Distribución de la fuerza laboral por actividades 1990-1999. Tabla 1.6: Demanda actual y futura de agua. Tabla 2.1: Potenciales del calentamiento de La Tierra. Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de eventos ENSO. Tabla 3.2: ENSO Históricos. Tabla 3.3: Eventos ENSO y sus efectos para el periodo 1768-1992. Tabla 3.4: Listado de fenómenos El Niño y La Niña. Tabla 3.5: Clasificación anual de Martonne. Tabla 3.7: Valores de los índices mensuales de Martonne. Tabla 3.8: Índice de aridez anual de Martonne.	161 173 20 27 39 41 61 67 69 93 93 94 95 95

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 4.2: Años de sequía y sequía extrema	104
Tabla 4.3: Número de años con sequía y sequía extrema	104
Tabla 4.4: Factores detonantes de deslizamientos de Tierras.	106
Tabla 4.5: Precipitaciones de 1984	107
Tabla 4.6: Total de damnificados por comuna en la Provincia de Elqui	110
Tabla 4.7: Total de damnificados por comuna en la Provincia de Limarí	
Tabla 4.8: Total de damnificados por comuna en la Provincia de Choapa	
Tabla 4.9a: Total de damnificados para la Región de Coquimbo	
Tabla 4.9b: Total de viviendas viviendas dañadas y destruidas por provincia	111
Tabla 4.10: Precipitaciones en mm, registradas en el año 1997	
Tabla 5.1: Panorámica general de las principales fuerzas determinantes	130
Tabla 5.2: Panorámica general para los 26 escenarios armonizados	131
Tabla 5.3: Precipitaciones anuales periodo 1964-2003	149
Tabla 5.4: Distribución porcentual de las precipitaciones anuales	150
Tabla 5.5: Escenarios de precipitaciones y sus variables.	
Tabla 5.6: Magnitud de las precipitaciones para el caso de un aumento	
Tabla 5.7: Magnitud de las precipitaciones para el caso de una disminución	
Tabla 5.8: Clasificación de la intensidad de las precipitaciones.	
Tabla 5.9: Valores del estadístico calculado de Kolmogorov-Smirnov.	
Tabla 5.10: Valores de α y γ para las distribuciones Gama	
Tabla 5.11: Probabilidad de que las precipitaciones disminuyan.	
Tabla 5.12: Probabilidad de que las precipitaciones aumenten	
Tabla 5.13: Periodo de retorno para la disminución de las precipitaciones	
Tabla 5.14: Periodo de retorno para el aumento de las precipitaciones	
Tabla 5.15: Probabilidad de que las precipitaciones sean menores que 2 mm por	
periodo de uno a seis meses consecutivos	
Tabla 5.16: Probabilidad de que las precipitaciones sean menores que 5 mm por	162
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Tabla 5.17: Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 2 mm/mes un periodo de hasta 24 meses	
Tabla 5.18: Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 5 mm/mes	
	164
Tabla 5.19: Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 10 mm/mes	_
un periodo de hasta 24 meses.	
Tabla 5.20: Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 20 mm/mes	por
un periodo de hasta 24 meses	•
Tabla 6.1: Principales vulnerabilidades detectadas	167
Tabla 6.2: Principales Instituciones.	
•	
ÍNDICE DE ECHACIONES	
ÍNDICE DE ECUACIONES	00
Ecuación 3.1: Índice de aridez anual de Martonne Ecuación 3.2: Índice de aridez mensual de Martonne	
Ecuación 5.1: Función de densidad de probabilidad distribución Normal Ecuación 5.2: Función de densidad de probabilidad distribución Gama	
Ecuación 5.3: Ecuación 5.3:	
Ecuación 5.4: Estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov	
Louison 3.7. Estatistico de prueba Rollhogorov-Stillinov	101

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ABSTRACT

The present memoir includes a research, analysis and interpretation of the historical record of climatic oscillations in the Coquimbo Region, in particular in the Elqui River basin. Besides, the study intends to present a prospective vision about how an in which degree, the climate change could affect the Region in the future.

For the elaboration of the present study, the evidences, theories and conclusions regarding climate change were considered, as well as the different sceneries for greenhouse gases emissions. Also de local climatic factors were considered, and its control by the ENSO (El Niño Southern Oscillation) phenomenon. They were examined in the frame of the climatic sceneries developed for Chile, producing a range of probable precipitation for the Elqui River basin.

Among the results obtained, stands out a consistent decrease in the annual precipitation recorded at La Serena for the 1869-2003 period, which represents a 40% variations. However, the Elqui River present an increase of its flow, probably due to large volumes of precipitations accumulated in form the snow and ice in the Andes mountains during the El Niño episodes. The Elqui River basin is highly vulnerable to extreme climatic conditions. In particular the Claro and Derecho rivers sub-basins are both to hydric shortage and excess, which generate earth and rock debris flows.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

RESUMEN

La presente memoria consiste en una investigación, análisis e interpretación del comportamiento histórico de las oscilaciones climáticas en la Región de Coquimbo, específicamente la cuenca del Río Elqui. Por otro lado busca entregar una visión concreta de cómo y en que grado el cambio climático podría llegar a afectarla.

Para el desarrollo de esta memoria se consideraron las evidencias, teorias y conclusiones relativas a los diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Se analizaron e interpretaron las variables climáticas locales y el efecto de la oscilación ENOS (El Niño-La Niña) en ellas. También se examinaron los escenarios climáticos desarrollados anteriormente para nuestro país y se diseñaron posibles escenarios de precipitaciones para la cuenca del río Elqui.

Entre los resultados obtenidos se cuenta un descenso de las precipitaciones en la ciudad de La Serena del orden del 40% entre 1898-2003. En cambio los caudales del río Elqui presentan una tendencia al aumento, el que estaría relacionado con el fenómeno ENOS. Esta aparente contradicción puede ser explicada en términos de acumulaciones mayores de nieve y hielo en las montañas andinas, especialmente durante los años de El Niño. La cuenca del río Elqui, es muy vulnerable a eventos hidroclimáticos, donde el área comprendida por las subcuencas del río Claro y Derecho, resulta ser la más vulnerable al déficit hídrico. Además es el área que presenta una mayor vulnerabilidad física a procesos de remoción en masa

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los 4.600 millones de años de historia de la Tierra las fluctuaciones climáticas han sido muy grandes, variando el clima de muy cálido a muy frío. La serie de glaciaciones (Günz, Mindel, Riss y Würm) del Pleistoceno y los periodos interglaciares nos dan muestra de la variabilidad climática natural existente en la Tierra.

Actualmente sabemos que durante el último siglo, se ha registrado un calentamiento entre 0,3 y 0,6 °C, situación que se ve ratificada en el retroceso que se observa en la mayoría de los glaciares de montaña y a través del aumento anual del nivel del mar entre 1 y 2 mm por año (IPCC 2001). Sobre tal variabilidad del clima natural se superpone el efecto climático que la humanidad está induciendo en la atmósfera por medio de la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano.

Las actividades humanas están incrementando las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y aerosoles que tienden a calentar la atmósfera y a enfriarla respectivamente. Estas actividades están directamente relacionadas con la tecnología la economía y con el tamaño de la población, el cual actualmente sobrepasa los seis mil millones de personas.

Si consideramos que la variabilidad climática natural que posee nuestro planeta puede estar siendo alterada por las actividades humanas nos encontramos frente a un "Cambio Climático Global" de origen antrópico cuyas consecuencias son muy difíciles de prever.

El presente estudio consta de seis capítulos, donde se hace una descripción de la cuenca del río Elqui, se describe la ciencia del efecto invernadero y el cambio climático, se analizan las variables climáticas locales como la precipitación, la temperatura, la evaporación potencial y los caudales de los distintos ríos de la cuenca, además de la influencia del fenómeno ENSO en estas variables. También se incluyen los modelos climáticos, los escenarios de emisiones y escenarios climáticos, luego se describen las vulnerabilidades, impactos y la capacidad de adaptación finalizando este estudio con las conclusiones.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Los objetivos de este estudio se dividen en objetivos generales y objetivos específicos.

Objetivos generales.

- Documentar el comportamiento histórico de las oscilaciones climáticas en la Región.
- Dar una visión concreta de cómo y de que manera un cambio climático puede afectar a la Región.
- Proporcionar información sobre posibles escenarios futuros de cambio climático y sus consecuencias para la Región.

Objetivos específicos.

- Determinar patrones de oscilaciones climáticas.
- Realizar una caracterización de los sectores Alcohuaz, Pisco Elqui, Diaguitas y el Molle y Quebrada Marquesa en el Valle de Elqui, en cuanto a sus vulnerabilidades¹ bio-físicas y factores productivos actuales.
- Identificar futuros escenarios de Cambio Climático u Oscilaciones Climáticas para la Región.
- ldentificar los impactos que pudiesen producir los diferentes escenarios u oscilaciones sobre dichas vulnerabilidades y/o detectar nuevas vulnerabilidades.
- Finalmente, evaluar la capacidad de adaptación² de las instituciones Regionales con más competencia frente a las consecuencias de los posibles cambios climáticos.

Este trabajo se encuentra en el marco del proyecto de investigación chileno-canadiense "Institucional Adaptation to Climate Change" Ejecutado por las Universidades de La Serena y la Universidad de Regina (Canadá). Más información del proyecto en http://www.parc.ca/mcri/index.php

¹ Vulnerabilidad es el grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio, incluida la variabilidad y los extremos del clima. La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio o variación a la que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación.

² Capacidad de adaptación: es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO I

"DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO"

1.1.- Cuenca del río Elqui.

La Cuenca del río Elqui se encuentra ubicada entre los paralelos 29°34'-30°27' Latitud Sur y meridianos 71°22'-69°52' Longitud Oeste en la Zona de Valles Transversales (27°-33° S) y administrativamente se ubica en la IV Región de Coquimbo. Limita al Norte con las cuencas del río Huasco y las quebradas de Los Choros, Honda y Chacai, al Este con la República Argentina y al Sur con la cuenca del río Limarí y las cuencas costeras de las quebradas El Culebrón y Lagunillas. El río Elqui se forma de la confluencia de los ríos Claro y Turbio, en la localidad de Rivadavia. El río Claro nace de la unión de los ríos Cochiguaz y Derecho, recibiendo en su trayecto los aportes de la quebrada Paihuano. El río Turbio está formado por los ríos de La Laguna, Incaguas y Del Toro; este último a su vez está formado principalmente por el aporte del río Vacas Heladas (Ver figura 1.1).

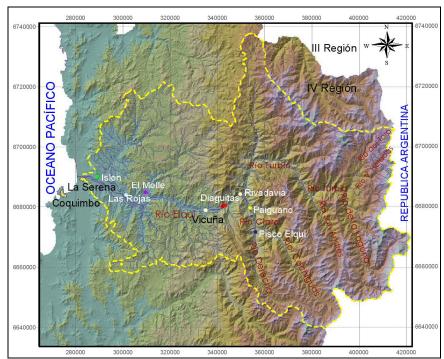


Figura 1.1 Cuenca del río Elqui.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

El drenaje de la cuenca alcanza una superficie de 9.645 km² y presenta un régimen pluvio-nival, incluyendo la sub-cuenca del río Turbio y del río Claro (que son principalmente nivales). El río Elqui y sus tributarios fluyen en dirección este-oeste desde las cumbres andinas que superan los 5000 m. hasta el Océano Pacífico. El ancho del territorio nacional próximo a la latitud 30° S, alcanza solo unos 135 Km. Lo cual da origen a fuertes pendientes, especialmente en sus nacientes.

Dentro de esta cuenca se han seleccionado tres sectores principales para caracterizarlos en cuanto a sus vulnerabilidades bio-físicas y factores productivos; los sectores son Quebrada Marquesa – El Molle, Diaguitas – Peralillo y Pisco Elqui – Alcoguaz. En la figura 1.2 se pueden apreciar tanto las características de la Cuenca del Río Elqui como la ubicación y distribución de los sectores mencionados anteriormente.

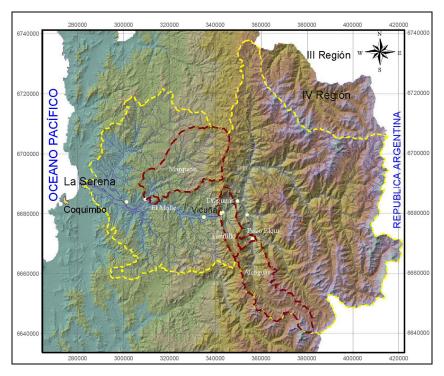


Figura 1.2. Cuenca del Río Elqui y sectores seleccionados. Se aprecia la ubicación geográfica de la Cuenca como la de los sectores seleccionados, los cuales están delimitados por color rojo.

1.1.1.- Río Turbio.

El río Turbio, es el principal afluente del río Elqui, con un área total de 4.190 km²; toma este nombre a partir de la confluencia de los ríos La Laguna y El Toro, cuyas

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

nacientes se ubican en la Cordillera de Los Andes con montañas que superan los 6.000 m.s.n.m. (cerro Olivares 6.255 m.s.n.m.). En su trayectoria, el río Turbio cambia constantemente de dirección, recorriendo una distancia de aproximadamente 70 km hasta unirse con el río Claro. Desde este punto hasta su junta con el río Claro, sus principales afluentes son el río Incaguaz, los esteros Huanta y Los Tilos.

En el río La Laguna se encuentra el embalse del mismo nombre, con una capacidad de 40 millones de m³. Desde el inicio de su servicio a fines de la década de los 40, se ha usado para una regulación interanual, siendo de gran utilidad para afrontar y reducir los efectos de sequías en el valle del Elqui (Junta de Vigilancia río Elqui). Esta obra beneficia en forma directa a los regantes de los ríos Turbio y Elqui.

1.1.2.- Cuenca del río Claro.

La cuenca del río Claro tiene una superficie de 1.552 km². Tiene dos cauces principales, los cuales son el río Derecho y el río Cochiguaz. El río Derecho nace en el cerro del Volcán (3.510 m.s.n.m) y después de correr un corto tramo de este a oeste, cambia paulatinamente de dirección hasta escurrir de sur a norte. Al Este de este río, escurre en dirección aproximada sureste a noroeste el río Cochiguaz, que igualmente nace en la Cordillera de Los Andes. Se une al río Derecho en el pueblo de Montegrande a unos 20 km de la junta de los ríos Claro y Turbio.

El río Claro nace de la unión de los ríos Derecho y Cochiguaz y corre aproximadamente de sur a norte hasta su confluencia con el río Turbio.

La cuenca del río Claro tiene una orientación sureste-noroeste. Limita al este con la Cordillera de Los Andes, con cerros sobre los 4.500 m.s.n.m. Al sureste limita con la cuenca del río Hurtado (río Limarí) de la que lo separa un cordón montañoso con cerros sobre los 4.000 m.s.n.m. (cerro Potrerito 4.365 m.s.n.m). Más al norte, limita al este con la cuenca del río Elqui. Al suroeste y norte limita con la cuenca del río Turbio.

La zona de riego abarca una superficie de 1.893 hás, la que se desarrolla en la caja del río y en los faldeos de los cerros. Los recursos hídricos provienen fundamentalmente de los derretimientos de nieve de la alta cordillera. Como se pudo apreciar en la figura 1.2, en esta cuenca se encuentran ubicados los sectores de Pisco

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Elqui y Alcoguaz.

1.1.3.- Cuenca del Valle del río Elqui.

La cuenca del valle del río Elqui corresponde a la subcuenca comprendida entre la junta de los ríos Claro y Turbio con su posterior desembocadura en el Océano Pacífico.

Tiene una superficie de 3.897 km² y se puede subdividir en dos cuencas menores, una cuenca media comprendida entre la junta y Quebrada Marquesa y otra cuenca baja entre Quebrada Marquesa y el Océano Pacífico.

El río Elqui toma este nombre en la confluencia de los ríos Claro y Turbio, a unos 2 km aguas arriba de la localidad de Rivadavia (ver figura 1.1). Desde este lugar hasta el Océano Pacífico, el río recorre una distancia de aproximadamente 70 km con dirección este-oeste. En su recorrido, el río Elqui recibe los aportes de varias quebradas. Las más importantes son las quebradas de Marquesa y Santa Gracia por el norte, en su curso medio e inferior respectivamente. Por el sur, las quebradas más importantes son: San Carlos, Arrayán y Talca. Las cuales poseen escurrimientos ocasionales producto de las precipitaciones.

1.2.- Climatología de la Región.

El Clima de la Región se encuentra influenciado por la interacción de factores atmosféricos, oceánicos y orográficos los cuales determinan la distribución espacial de los principales elementos del clima en el Norte de Chile. Los principales factores son: El Anticiclón del Pacífico, La corriente de Humboldt y la cordillera de lo Andes.

Anticiclón del Pacífico: La Región de Coquimbo está bajo la influencia del Anticiclón del Pacífico (figura 1.3), corresponde a un sistema semi-permanente de altas presiones situado cerca de los 35° S, 90° 0 en enero y a 25° S, 90° O en julio (Kalthoff et al. 2002). El Anticiclón influencia la intrusión de frentes de inestabilidad polar, estabiliza la atmósfera debido a la subsidencia atmosférica, inhibe la formación de nubes en la media y alta atmósfera y en particular, cuando estas corrientes de aire descendente se enfrentan con la superficie oceánica fría, se genera una capa de

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.



Figura 1.3. Anticiclón del Pacífico en invierno (línea celeste) y verano (línea roja).

inversión térmica, es decir, una capa de aire de mayor temperatura entre dos capas de aire frío, contrario a la condición normal de descenso de la temperatura con el incremento de la altitud.

A lo largo de la costa del norte de Chile, la capa de inversión térmica resulta en el establecimiento de una capa de estratos nubosos permanentes durante el año (Miller, 1976), que ocupan cientos de kilómetros de extensión norte-sur con grosor aproximado de 250 m (Rundel et al. 1991), y cuya altitud media varía latitudinalmente, así por ejemplo en las cercanías de Antofagasta se ubica entre los 800-900 m (Miller 1976), Pan de Azúcar entre los 300 y 800 m (Thompson et al. 2003), La Serena entre los 500 y

800 (Weischet 1970, Miller 1976) y Quintero a 500 m (Miller 1976) lo que provoca el bloqueo permanente de los sistemas frontales causantes de las lluvias. Debido a lo persistente de este sistema de circulación atmosférica anticiclonal y de sus eventuales desplazamientos hacia el norte o el oeste, se genera y da forma al carácter árido de la zona.

Corriente de Humboldt: Corresponde a un flujo superficial y sub-superficial de aguas de origen polar que se desplazan hacia el norte influenciando la temperatura del aire superficial y la del mar, provocando que los valores de la temperatura del mar sean inferiores a los valores esperados por el descenso latitudinal (Cereceda & Errázuriz 1991), registrándose en las costas del norte de Chile temperaturas menores a 17° C (Romero 1985, Romero et al. 1988, Vásquez et al. 1998, Luna-Jorquera & Culik 1999). La corriente de Humboldt ejerce un efecto moderador del régimen térmico, estabilizador del aire y sobre la tasa de evaporación del agua, limita la formación de nubes que generan precipitación.

Topografía: La topografía de la región está dominado por la presencia de la cordillera de Los Andes, la cual actúa como biombo climático de la influencia climática oriental, y a causa de su abrupto levantamiento provoca un control de los flujos

 $[&]quot;Cambio \ Climático: \ Vulnerabilidad, \ Adaptación \ y \ Rol \ Institucional. \ Estudio \ de \ Casos \ en \ el \ Valle \ de \ Elqui" \ / \ C. \ P\'erez \ / \ 2005.$

regionales de los vientos (Kalthoff et al. 2002), y un notorio gradiente climáticoaltitudinal, especialmente de la temperatura y la precipitación.

Utilizando criterios bioclimáticos, la Cuarta Región de Coquimbo se ubica en una zona mediterránea árida de Chile (Di Castri & Hajek 1976), la que se extiende hasta cerca de los 33º de latitud Sur. En ella las precipitaciones se concentran en la estación fría del año, con sequía en los meses cálidos (estival), aunque con una marcada variabilidad de los montos pluviométricos intra e interanual. Las temperaturas muestran fluctuaciones estaciónales, aunque con notable homogeneidad a lo largo de los años (Espinoza & Hajek 1988).

La Región de Coquimbo se encuentra en una transición entre clima mediterráneo desértico y semi-desértico, con diferentes matices: húmedo y nuboso en el litoral, y estepario cálido en el interior. La zona costera se caracteriza por la presencia de mucha humedad (85%) y mucha nubosidad (principalmente en las mañanas), con temperaturas muy moderadas; media anual de 14,7°C (La Serena) y una oscilación térmica diaria que no sobrepasa los 6°C. La zona interior se caracteriza por la ausencia de nubosidad.

El mal tiempo posee una escasa frecuencia, siendo común lo irregular de las precipitaciones (lluvias), de lo cual deriva no solo el rasgo de aridez (Kaltoff et al, 2005), sino también una gran incertidumbre climática.

La localización de la Región de Coquimbo, determinada por su condición de borde austral del Desierto de Atacama y como área de transición hacia la zona mediterránea, le otorga a la cuenca un sugerente valor como frontera natural entre diversos ecotonos. Los abundantes días despejados y transparentes en el interior son producto del descenso de masas de aire seco, frío y limpio desde la alta atmósfera. A su vez se presenta un fenómeno de inversión térmica típica de los sectores de subsidencia, lo que lleva al registro de una gran radiación solar en todos aquellos lugares que no son afectados por las neblinas y nubosidad costera. El fenómeno de subsidencia atmosférica explica un rasgo característico de la Región: las temperaturas no disminuyen con el aumento de la altura, por el contrario, estas aumentan, lo cual determina que una extensa área del interior presente temperaturas más altas que la costa, pre-cordillera y cordillera de los Andes. Este incremento térmico comienza a presentarse a partir de los 1.000 m.s.n.m. en verano, desde los 700 m.s.n.m. en

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

primavera, y desde los 500 m.s.n.m. en invierno (IGM, 1988).

Esto genera una franja de tierras interiores que se desarrollan entre los 500 y 1.200 m.s.n.m., en donde se produce un interesante fenómeno de inversión térmica, lo que favorece el desarrollo de vegetación y fauna asociada, así como actividades agrícolas intensivas.

La sumatoria de elementos que interactúan en la caracterización climática de la Región de Coquimbo, permiten diferenciar tres zonas o franjas altitudinales con rasgos bien particulares; las cuales históricamente eran (Schneider, 1969):

- ➤ Clima semiárido litoral: Se presenta en la costa penetrando en los cursos inferiores de los valles. Se caracteriza por una alta humedad relativa durante todo el año, llegando a valores del 80%. Frecuentes son las neblinas, camanchacas, brumas y nubosidad en las mañanas y tardes. Los días despejados no superan los 100 durante todo el año, registrando una temperatura media anual de unos 14°C con la ausencia total de heladas. Las precipitaciones eran ligeramente inferiores a los 100 mm. anuales. En la actualidad son del orden de los 75 mm (promedio de 30 años, datos de la Dirección Meteorológica de Chile).
- ➤ Clima semiárido interior: Se presenta en una franja intermedia ubicada entre la costa y la cordillera de los Andes. Se caracteriza por una humedad atmosférica media de un 60%. Los días despejados anuales llegan a los 200 o más, alcanzando una extraordinaria transparencia atmosférica. La amplitud térmica diurna y anual es muy marcada, registrando en invierno temperaturas bajo cero y en verano superior a los 30°C; a igual latitud existe una suave alza respecto al litoral.
- ➤ Clima semiárido de montaña: Se presenta en el macizo andino donde la humedad relativa anual no supera el 50%. Las temperaturas medias anuales registradas son de unos 8 a 9 °C en los valles (a 2.700 metros de altura). Las precipitaciones caen en forma de nieve y aumentan considerablemente con la altura y latitud.

 $[&]quot;Cambio \ Climático: \ Vulnerabilidad, \ Adaptación \ y \ Rol \ Institucional. \ Estudio \ de \ Casos \ en \ el \ Valle \ de \ Elqui" \ / \ C. \ P\'erez \ / \ 2005.$

1.2.1.- Clima de la cuenca del Río Elgui.

En la parte cercana a la costa, la cuenca se encuentra bajo la influencia de la vaguada costera, la cual cubre con abundante nubosidad las planicies costeras, principalmente durante los meses de invierno. En La Serena se registra un promedio de 114 días cubiertos al año y solo 74 días despejados y una humedad relativa superior al 78% (Bodini y Araya, 1998). Al interior entre los 25 y 75 km de la costa se tiene un clima de estepa templada, el cual es seguido por un clima de estepa fría de montaña por unos 50 km y finalmente 10 km con clima de tundra de alta montaña (Bodini y Araya, 1998).

En la parte media de la cuenca las precipitaciones son del orden de los 100 mm/año, considerándose un año normal (el promedio de treinta años (1974-2003) de las precipitaciones en Vicuña y Rivadavia son de 102 mm y 106 mm anuales), sin embargo, se producen importantes variaciones en los años en que se presenta el fenómeno de El Niño y La Niña, con El Niño las precipitaciones pueden doblarse o más aún triplicarse (En el punto 3.3 se verá con más detalle la influencia de los fenómenos el Niño y la Niña en las precipitaciones locales). Existe una clara variación de la precipitación con la altura, efecto que se aprecia en la zona alta de la cuenca (ver figura 1.4)

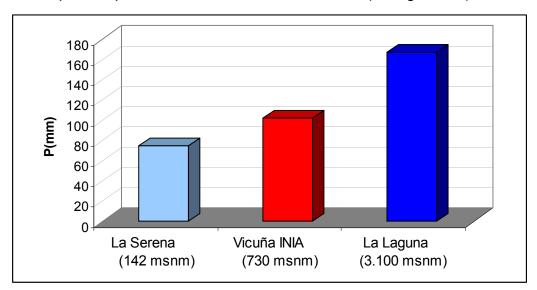


Figura 1.4 Variación de la precipitación con la altura, promedio de treinta años de precipitaciones (1974-2003), estaciones de La Serena (DMC), Vicuña INIA y La Laguna.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En relación a las temperaturas, estas aumentan con la altura conforme nos adentramos en el valle del río Elqui, teniendo temperaturas máximas alrededor de los 1.200 m.s.n.m. a partir de la cual empieza a disminuir con un gradiente térmico igual a:

G.T. =
$$-6.5$$
 °C/1.000 m

En el valle del río Elqui las heladas son escasas, las temperaturas suaves con seguras oscilaciones térmicas, nubosidad cerca de la costa y una intensa radiación solar en el interior. En la alta cordillera se tienen bajas temperaturas, heladas frecuentes y la precipitación es preferentemente nival.

1.2.2.- Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Elqui.

En la cuenca del río Elqui existen alrededor de 25 estaciones meteorológicas, de distintas categorías (agro-meteorológicas, completas, rudimentarias, etc.) Ellas pertenecen a distintas instituciones: Dirección General de Aguas (DGA), Centro de Investigación Atmosférica de La Serena (CIALS), Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la compañía Minera El Indio (CMEI). En la figura 1.5 se muestra la ubicación espacial de las estaciones en la cuenca del Elqui. Además, hay que mencionar que existe una gran cantidad de estaciones agro-meteorológicas privadas las cuales están ubicadas en sectores agrícolas principalmente, pero en general, esos registros no son confiables.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

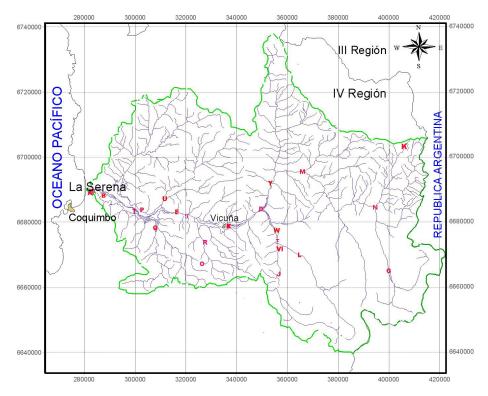


Figura 1.5 Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la cuenca del Valle de Elqui.

Solamente unas pocas estaciones meteorológicas poseen una historia de larga data en algunas de las variables medidas; por ejemplo, en la estación de La Serena se tienen registros de la variable de precipitación desde 1869, sin interrupciones. Sin embargo, las otras estaciones, si bien algunas tienen registros antiguos, estas presentan series de datos incompletos. Existe además una gran heterogeneidad en cuanto a instrumental, cantidad de variables medidas, frecuencia de mediciones, etc. Los parámetros medidos y las características de las estaciones se especifican en la tabla 1.1.

 Tabla 1.1 Parámetros medidos y características de las estaciones meteorológicas.

Nombre	Institución	Fecha de	Estado Actual	Coorden	adas		Parámetros
Estación	Responsable	Instalación		UTM Norte	UTM Este	Altura	Medidos
A La Serena (Escuela Agrícola)	CAMPEX	1869	Término funcionamiento Aprox.: 1948	6.689.520	282.204	14	Precipitación

 $[&]quot;Cambio \ Climático: \ Vulnerabilidad, \ Adaptación \ y \ Rol \ Institucional. \ Estudio \ de \ Casos \ en \ el \ Valle \ de \ Elqui" \ / \ C. \ P\'erez \ / \ 2005.$

^B Aeropuerto de La Serena	DMC	1945	Funcionando	6.688.330	287.560	145	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
^C Vicuña	INIA	1945 1960	Funcionando	6.676.272	336.792	650	Precipitación. Velocidad y dirección del viento. Temperatura, evaporación p.
^D Rivadavia	DGA	Ene-1937 Ago-1958 Oct-1976 Jul-1976	Funcionando	6.682.999	349.571	850	Precipitación Velocidad del viento Temperatura Evaporación
E Almendral	DGA	Sept-1958	Funcionando	6.681.809	316.517	430	Precipitación
F Montegrande	DGA	Ene-1958	Funcionando	6.670.207	356.050	1115	Precipitación
^G La Laguna	DGA	Ene-1964 Ene-1964 Ene-1974	Funcionando	6.658.664	399.930	3100	Precipitación Nieve Temperatura
H La Serena (Escuela Agrícola)	DGA	1971	Funcionando	6.690.120	282.737	15	Precipitación
^I Pisco Elqui	DMC	1977	Funcionando	6.667.310	357.889	1300	Precipitación
^J La Ortiga	DGA	Feb-1979 Ene-1979 Ene-1981	Funcionando	6.657.355	356.759	1560	Temperatura Precipitación Velocidad del viento
K El Indio	CMEI	1981	Funcionando	6.707.618	405.935	3869	Nieve. Temperatura. Velocidad viento.
^L Cochiguaz	DGA	Abr-1989	Funcionando	6.664.968	364.824	1560	Precipitación
^M Huanta	DGA	Abr-1989	Funcionando	6.697.800	365.974	1240	Precipitación
^N Juntas del Toro	DGA	1989 1989 1989 1989	Funcionando	6.683.648	394.637	2155	Temperatura Precipitación. Evaporación. Velocidad del viento.
^O Cerro Tololo [♣]	DMC	Nov. 1995	Funcionando	6.661.393	326.332	2028	Temperatura Humedad Velocidad del viento Dirección del viento Radiación (Upward and downward shortwave) RadiaciónTotal (upward and downward) Presión Aire

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

^P Pelicana [♣]	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.682.542	302.672	280	Temperatura Humedad Velocidad y dirección del viento. Radiación onda corta (upward, downward) RadiaciónTotal (upward and downward) Temperatura superficial Flujo de calor en el suelo Presión.
^Q Arrayán*	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.675.740	307.896	340	Velocidad del viento Dirección del viento Temperatura Humedad
^R San Carlos*	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.669.862	327.584	630	Temperatura Humedad Velocidad y dirección del viento. Radiación onda corta (upward, downward) RadiaciónTotal (upward and downward) Temperatura superficial Flujo de calor en el suelo Presión.
S Puclaro*	CIALS	1999	Término funcionamiento 2003	6.680.195	320.199	445	Velocidad del viento. Dirección del viento
^T Rumpa ^{♣♠}	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.682.116	299.523	198	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
^U Tara ^{♣♠}	CEAZA	Ene-2004	Término funcionamiento Dic-2004	6.686.994	311.701	300	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

^V Pingo◆◆	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.667246	356.623	1212	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
^W Puya ^{♣♠}	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.674.515	355.973	500	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación Humedad de Hoja
^X Copao**	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.676.272	336.792	638	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación
^Y Pacul**	CEAZA	Ene-2004	Funcionando	6.693.258	353.467	1600	Temperatura Humedad relativa. Velocidad y dirección del viento. Radiación ET PAR T. Suelo Precipitación

[•] Estaciones automatizadas en las cuales se captura la información cada 10 a 15 minutos y es almacenada en dataloggers.

1.2.3.- Análisis de las Precipitaciones.

En este análisis de precipitaciones se consideran las estaciones de La Serena, Almendral, Vicuña (INIA), Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna.

Estas estaciones proporcionan la información online a través de la página http://www.ceaza.cl/Ceaza-Met donde la información se actualiza cada 30 minutos; de esta manera la información esta disponible para los agricultores, servicios públicos e investigadores interesados. Estas estaciones no poseen datalogger.. **Nota:** Al principio del nombre de la estación, se señala con una letra en formato superíndice la ubicación que esta tiene en la figura 1.5.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En primer lugar, en la figura 1.6 se muestra el registro de las precipitaciones en la ciudad de La Serena para el periodo 1869-2003 y a su vez en la figura 1.6 se muestra el promedio móvil de 30 años de las precipitaciones, análisis que ya fue realizado en 1999 por Santibáñez. En la figura 1.7 se observa una clara tendencia de disminución y una disminución de las precipitaciones del orden del 40% en la ciudad de La Serena (comparando la media de treinta años de 1898 y la media de 2003 de los datos de la DGA). No obstante, a partir del año 1997 se observa una pendiente positiva en los promedios móviles de las precipitaciones.

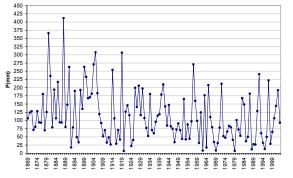




Figura 1.6 Precipitaciones en la ciudad de La Serena, periodo 1869-2003.

Figura 1.7 Promedio móviles de 30 años de las precipitaciones en la ciudad de La Serena.

En la figura 1.8, se muestran cuarenta y cinco años con precipitaciones correspondientes al periodo 1959-2003 de las estaciones ubicadas en las localidades de La Serena, Vicuña, Rivadavia y Montegrande. En esta figura se puede apreciar claramente la variabilidad que poseen las precipitaciones de un año a otro. Gran parte de esta variabilidad se debe a los fenómenos El Niño y La Niña, donde en el primero podemos tener años con precipitaciones superiores a los 150 mm como en el año 1984, y en el segundo, donde las precipitaciones no superan los 20 mm como en el año 1988 por efecto de La Niña. Cabe destacar que al realizar la comparación de estos 45 años de precipitaciones entre las estaciones interiores (Vicuña, Rivadavia y Montegrande) con la estación de La Serena, se obtuvo que en diecisiete de los cuarenta y cinco años de registros, las precipitaciones en La Serena fueron mayores que en las localidades de Vicuña y Rivadavia; en cambio, en treinta y dos años las precipitaciones de La Serena fueron mayores que las de Montegrande.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

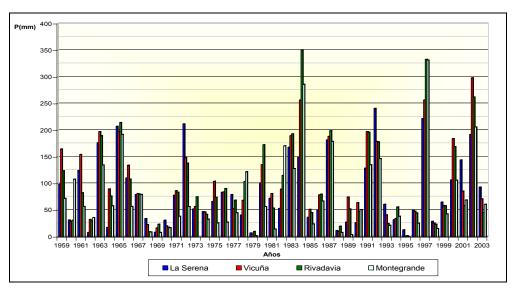


Figura 1.8 Precipitaciones en La Serena, Vicuña, Rivadavia y Montegrande. Periodo 1959-2003.

A continuación en la figura 1.9, se muestran las precipitaciones para un periodo de 24 años a partir de 1980, fecha desde la cual se puede contar con la continuidad de los datos para la mayoría de las estaciones. En estos 23 años se nota claramente el aumento de las precipitaciones a medida que aumenta la altura, un claro ejemplo es el año 1997 donde las precipitaciones en la ciudad de La Serena alcanzaron valores de 222 mm y 663 mm en la localidad de Alcoguaz. Los registros de precipitaciones que se muestran en la figura pertenecen a las estaciones de: La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna.

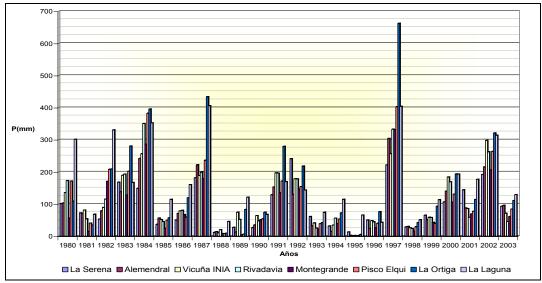


Figura 1.9 Precipitaciones periodo 1980-2003.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La figura 1.10 muestra claramente la estacionalidad de las precipitaciones, las cuales se concentran principalmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Este gráfico se obtuvo calculando la media mensual de las precipitaciones para cada estación en el periodo de 1980-2003.

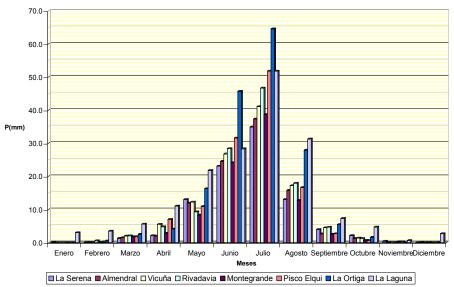


Figura 1.10 Promedio mensual de las precipitaciones, calculado en base a los registros del periodo 1980-2003.

1.3.- Hidrología e Hidrogeología.

1.3.1.- Estaciones Fluviométricas.

De igual forma como se cuenta con estaciones meteorológicas en la cuenca, se cuenta con estaciones fluviométricas distribuidas a lo largo de los principales ríos de la cuenca. Estas estaciones pertenecen en su totalidad a la Dirección General de Aguas. En la figura 1.11 se muestra la distribución espacial que tienen las estaciones en la cuenca.

 $[&]quot;Cambio \ Climático: \ Vulnerabilidad, \ Adaptación \ y \ Rol \ Institucional. \ Estudio \ de \ Casos \ en \ el \ Valle \ de \ Elqui" \ / \ C. \ P\'erez \ / \ 2005.$

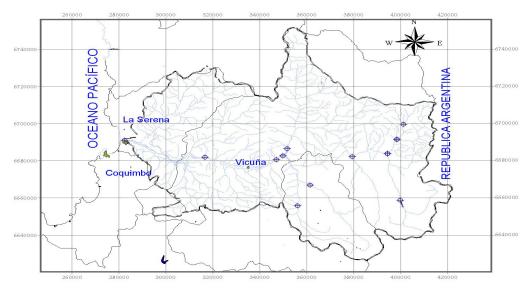


Figura 1.11 Distribución de las estaciones fluviométricas.

1.3.1.1.- Características de las estaciones fluviométricas.

A Continuación en la tabla 1.2 se detallan las principales características que poseen las estaciones.

Tabla 1.2 Características estaciones fluviométricas.

Nombre Estación	Fecha Instalación	UTM Norte	UTM Sur	Parámetros que son medidos.
Elqui en Almendral	Dic-1918	6.681.757	316.825	Sedimento, Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger, Satelital y Aforos
Elqui en Algarrobal	Dic-1916	6.680.454	347.133	Sedimento, Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Satelital y Aforos
Elqui en La Serena	Dic-1985	6.690.997	282.560	Análisis químico, Limnimétrica y Aforos
Turbio en Varillar	Dic-1914	6.686.365	351.815	Sedimento, Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger y Aforos
Claro en Rivadavia	Dic-1914	6.682.500	350.000	Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger y Aforos
Est. Der. en Alcohuaz	Dic-1983	6.655.764	356.187	Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger y Aforos
Cochiguaz en el Peñón	Dic-1983	6.666.765	361.630	Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger y Aforos

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La Laguna Salida embalse La Laguna	Dic-1928	6.658.622	400.025	Sedimento, Análisis químico, Limnimétrica, Datalogger, y Aforos
Del Toro en Junta río de La Laguna	May-1966	6.683.750	394.597	Análisis químico, Limnimétrica, Limnigráfica, Datalogger y Aforos
De la Laguna en Junta río del Toro	Dic-/1986	6.683.728	394.614	Análisis químico y Aforos.
Incaguaz antes de junta río del toro	Dic-1989	6.682.100	379.600	Análisis químico y Aforos.
Malo Después tranque de relaves el Indio	Dic-1986	6.699.570	401.340	Análisis químico y Aforos.
Malo antes Junta río Vacas Heladas	Dic-1986	6.691.450	398.700	Análisis químico y Aforos.
Vacas Heladas antes Junta río Malo	Dic-1986	6.691.400	398.614	Análisis químico y Aforos.

1.3.2.- Análisis de Caudales.

En este análisis se consideran nueve estaciones de las mencionadas en el punto anterior, estas estaciones son:

- > Río Elqui en La Serena.
- > Río Elqui en Almendral.
- > Río Elqui en Algarrobal.
- > Río Claro en Rivadavia.
- > Río Cochiguaz en el Peñón.
- > Estero Derecho en Alcohuaz.
- Río Turbio en Varillar.
- Río Toro antes junta La Laguna.
- La Laguna.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

A continuación en la figura 1.12 se muestran los caudales a lo largo del año, para un periodo de 19 años (1985-2003), en los cuales se calculó el promedio mensual para dicho periodo.

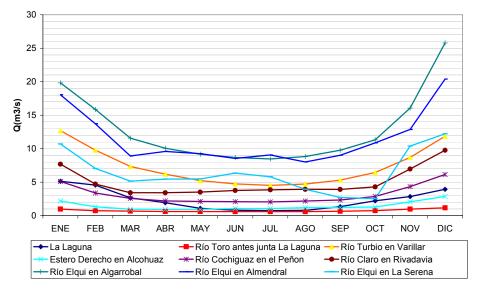


Figura 1.12 Caudales medios mensuales, periodo de referencia 1985-2003. En la estación de Almendral no existen datos para el año 1985, lo mismo sucede para el año 1993 en la estación de La Serena, en ambos casos se consideraron 18 años con datos.

En general todas todos los ríos presentan un régimen nival, donde las mayores crecidas se producen por deshielos en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre alcanzándose el peak durante este último mes. En la figura se observa claramente el régimen nival de los ríos: Las precipitaciones líquidas poseen escasa influencia en los caudales. En el gráfico del año hidrológico (figura 1.13), se muestra claramente la influencia de los deshielos en los caudales, alcanzándose los caudales máximos en el mes de diciembre.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

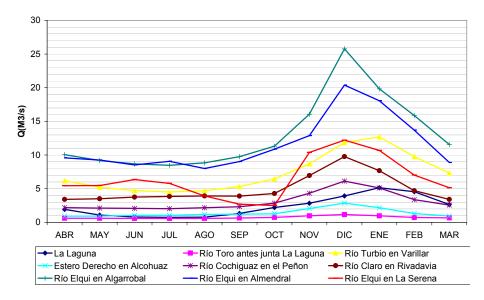


Figura 1.13 Caudales medios mensuales, año hidrológico. Periodo de referencia 1985-2003.

El río Turbio presenta un régimen de escurrimiento bien definido con un caudal medio anual 7.3 m³/s. Su régimen es típicamente nival, presentando un máximo en su caudal medio mensual en torno al mes de enero, en tanto que el mínimo corresponde al mes de julio, siendo el caudal medio de este mes 4.5 m³/s.

En el río Claro las variaciones de caudal son menores, presentando una homogeneidad más acentuada con un caudal medio anual del orden de los 4,93 m³/s. Sin embargo su régimen hidrológico también es nival.

Aguas abajo de Rivadavia, el río Elqui, en el sector de Algarrobal presenta un caudal medio anual de 12.95 m³/s, presentando un régimen nival más suavizado que el del Turbio, debido a la influencia del río Claro. Aguas abajo de Elqui en Algarrobal, no existen otros afluentes importantes, registrándose un caudal medio anual de sólo 6.74 m³/s en la estación río Elqui en La Serena. Hay que mencionar que a lo largo del río Elqui existen numerosos puntos de extracción de agua (bocatoma de canales), los cuales son destinados principalmente para riego agrícola y también para el abastecimiento de agua potable de los distintos pueblos y ciudades como es el caso de La Serena y Coquimbo.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1.4.- Hidrogeología.

En la parte alta de la cuenca, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período paleozoico motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces (CADE-IDEPE, 2004).

Destacan claramente tres escurrimientos: uno en dirección este-suroeste paralelo al río Turbio hasta el poblado de Rivadavia, con una profundidad promedio de 45 m. Este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja encauzándose paralelo al río Turbio. En dirección sur a norte por un lecho de rocas plutónicas escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el Turbio en Rivadavia. Desde Rivadavia hasta la desembocadura en La Serena el acuífero escurre en dirección este-oeste, por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas que varían de los 17 a los 3 metros, encajonados por rocas sedimentario – volcánicas (CADE-IDEPE, 2004).

En forma más detallada, desde la junta de los ríos Turbio y Claro hasta el lugar denominado La Campana el valle no tiene importancia hidrogeológica. A partir de este punto, el valle se amplía, existiendo una napa libre que coincide con el actual lecho, excepto en los costados en que el acuífero es confinado. El nivel freático se ubica a 15 m de profundidad excepto junto al río. La roca fundamental se encuentra entre los 20 y 120 metros de profundidad. El caudal de la napa subterránea es variable debido a las pérdidas del río y a los afloramientos (Guevara, 2003).

El río Elqui entre Algarrobal y Peralillo sufre una pérdida por infiltración y desde este punto a Huancará no se aprecia pérdida pero se hace sentir la influencia del riego. Desde Huancará hasta Puclaro, debido al basamento rocoso, que pierde profundidad, se producen importantes recuperaciones que superan las pérdidas producidas aguas arriba de este sector (Guevara, 2003).

Luego en el sector del embalse Puclaro hasta antes de su instalación la roca fundamental se profundiza a partir de los 70 a 90 m. y el nivel de la napa freática se encontraba próximo a la superficie.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Hoy en día, con la existencia del embalse Puclaro la hidrogeología del sector se ve modificada principalmente por los aportes de infiltración que provoca el embalse en la napa subterránea; estos aportes aún no han sido cuantificados (Guevara, 2003).

A partir de El Molle existe un ensanchamiento hasta la quebrada Santa Gracia. El nivel de la napa se presenta muy superficial, a menos de 4 m, donde las formaciones acuíferas más importantes se encuentran semiconfinadas, salvo a la altura de Punta de Piedra, donde los estratos más permeables de 30 a 50 m de espesor se encuentran confinados a profundidades superiores a los 50 m. El basamento se encuentra a profundidades superiores a los 100 m, estando en algunos lugares a 200 m, excepto en la parte alta junto a Pelícana donde existe un afloramiento rocoso, motivo por el cual se presentan recuperaciones. Estas recuperaciones superan las pérdidas que puedan producirse entre Pelicana y Punta de Piedra (Guevara, 2003).

Entre Punta de Piedra y El Islón, el fenómeno, de recuperaciones y pérdidas no está claro. Las mayores recuperaciones se producen entre El Islón y La Serena, por el retorno de riego y por las quebradas y afloramientos laterales (Guevara, 2003).

Existe un último acuífero que escurre en dirección norte-suroeste (figura 1.13), el cual esta formado por rocas volcánico – sedimentarias del período cretácico, este acuífero se junta con los restantes en la cercanías de La Serena (CADE-IDEPE, 2004).

A continuación en la figura 1.14 se muestran las principales características hidrogeológicas de la cuenca.

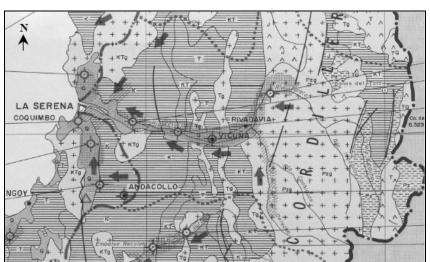


Figura 1.14 Características hidrogeológicas de la cuenca del río Elqui. MOP, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Mapa Hidrogeológico escala 1:1.000.000.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Según el documento Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, "Cuenca del Río Elqui", la recarga del acuífero se lleva a cabo mediante la infiltración directa de precipitaciones, la infiltración de una parte de la escorrentía superficial y la infiltración a partir de las aguas de riego.

La relación río-acuífero es variable a lo largo del valle. En el sector alto de la cuenca, vale decir en los tramos superiores de los valles de los ríos Turbio y Claro, la relación está definida por aportes de la escorrentía superficial al sistema subterráneo; sin embargo en otros sectores (por ejemplo entre Almendral y la confluencia de Quebrada de la Marquesa) la relación es inversa, vale decir el acuífero aporta recursos significativos a la escorrentía superficial (MOP, 2002).

Los mecanismos de descarga del sistema subterráneo del valle del río Elqui son: recuperación en el lecho del río, evapotranspiración desde las áreas que presentan un nivel freático somero inferior a 2 m., explotación artificial, y un caudal subterráneo saliente a través de la sección terminal.

1.5.- Infraestructura Hídrica.

Dentro de la infraestructura que se encuentra en la cuenca destacan los dos embalses existentes (La Laguna y Puclaro) los cuales tiene el propósito de retener los recursos hídricos, y regular las cuencas ante la gran irregularidad existente en las precipitaciones. Además existen 133 canales de riego los cuales captan agua por medio de bocatomas directas y captaciones de elevación mecánica.

1.5.1.- Embalse La Laguna.

Este embalse se comenzó a construir el año 1927, pero recién en 1941 empieza a operar normalmente con 40.164.000 m³. Posee una capacidad de evacuación de 50 m³/s.

Históricamente en el año 1933, el embalse comenzó a prestar servicio a la agricultura, almacenando alrededor de 15.500.000 m³. En 1934 quedo terminada la obra de toma y rebalse, en 1937 se dio por terminada la obra, no restando sino algunos

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

pequeños trabajos que fueron realizados posteriormente para su mayor seguridad.

La presa esta construida de tierra arcillosa con una cortina de concreto armado en la parte inferior y un recubrimiento de enrocado. La cortina de concreto armado esta colocada al centro de la presa y en su parte inferior. Esta cortina posee un metro de espesor el cual va desde la fundación hasta tres metros más alto que el lecho del río. Luego su espesor es de 0.20 m hasta los 14 m. de altura.

El agua que entrega el embalse, llega a un pique por 3 túneles de aducción situados a 7 m, 17 m y 32.5 m bajo el nivel del vertedero. Los dos túneles superiores son controlados por 4 válvulas de espejo de 500 mm cada una y el túnel inferior por 2 válvulas de espejo de 700 mm. El agua del pique de toma es evacuado al rio La Laguna por un túnel de 48 m de largo y 2,87 m² de sección que conecta con el túnel (By-pass), inmediatamente después del taco con que fue cerrado al terminarse la construcción del tranque.

1.5.2.- Embalse Puclaro.

Con el propósito de retener los recursos hídricos sobrantes escurridos hasta el mar y regular las cuencas ante la gran irregularidad de las precipitaciones es que en el año 1995, la Dirección de Obras Hidráulicas desarrolló un proyecto para la construcción del Embalse Puclaro. Este proyecto aprovecha la angostura de la zona de Puclaro y sus características geológicas y estratégicas, exclusividades que fueron parte de variados estudios.

La construcción del embalse comenzó en marzo de 1996 y el inicio del llenado del embalse el día 15 de Octubre de 1999.

El Embalse Puclaro está ubicado en el Valle de Elqui, a unos 50 Km al oriente de la ciudad de La Serena, Cuarta Región de Coquimbo, a 432 m.s.n.m. y posee una capacidad de 200 millones de m³

La zona de inundación tiene aproximadamente 760 ha., con una longitud máxima de 7 Km., esta área de inundación abarca las localidades de Manchihue y Gualliguica. Por lo cual se tuvo que trasladar el pueblo de Gualliguaica, incluidas las bocatomas de los canales del mismo nombre y los canales Puclaro y Polvada y parte del sector de Punta

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Azul. La cortina del embalse cuenta con una altura de 83 metros y una longitud de coronación de 595 mts.

El embalse, de generación multianual regula el Río Elqui, permitiendo una adecuada seguridad de riego a 20.700 ha. aproximadamente. La obra beneficia a 2.508 predios con un tamaño medio de 8 ha. por predio.

1.5.3.- Canales de Riego.

Los canales de regadío al igual que los embalses existentes forman parte del sistema de riego del Río Elqui y sus afluentes. Los canales de riego forman una extensa red conformada por 133 canales los cuales captan sus aguas por medio de bocatomas directas y captaciones de elevación mecánica, existiendo un total de 28.333 acciones de aguas distribuidas en 4.850 regantes. Las aguas superficiales que son extraídas en forma gravitacional por los canales corresponden a los ríos Turbio, Cochiguaz, Claro y Elqui específicamente. En general, los canales de la cuenca del río Elqui son en su gran mayoría de pequeño tamaño. De los casi 140 canales que pertenecen al sistema, sólo 9 de ellos son mayores de 500 l/s de capacidad, y de ellos sólo 4 son mayores de 1 m3/s, todos los cuales están ubicados en la 3ª sección del río Elqui. Regulación Nocturna.

1.6.- Geología y Geomorfología.

La geología de la cuenca está dominada principalmente por la presencia de rocas volcánicas calco alcalinas intermedias de edad mesozoica y cenozoica, intercaladas con rocas sedimentarias de similar litología (SERNAGEOMIN, 1982). Estas rocas albergan depósitos hidrotermales de varios metales, donde predominan los de cobre, oro y plata. A continuación en la figura 1.15 se pueden apreciar los distintos sectores geológicos de la cuenca.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

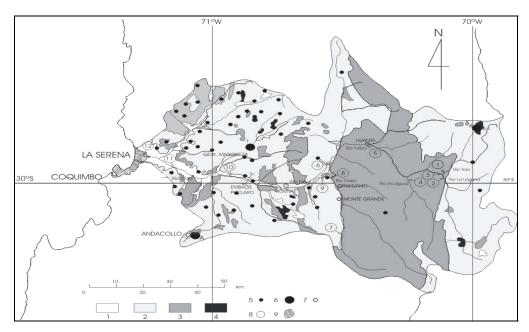


Figura 1.15 Geología de la cuenca de Elqui. Simboligía; 1: Sedimentos cuaternarios. 2: Rocas volcánicas y sedimentarias (principalmente clásticas de protolito volcánico andesítico). 3: Rocas graníticas intermedias. 4: Zonas de alteración hidrotermal. 5: Yacimientos de Cu, Ag y Au. 6: Yacimientos de Cu y Au mayores, en actual explotación (E.I.: El Indio; T: Talcuna; A: Andacollo). 7: Ciudad o pueblo. 8: Estaciones de monitoreo. 9: Ciudad principal. Referencias: Instituto Geográfico Militar (1983), Sernageomin (1982), Yacimientos metalíferos: Ulriksen (1990).

El relieve montañoso de esta cuenca y la precipitación altamente variable genera valles estrechos con cauces de agua muy fluctuantes y generalmente esporádicos. Los únicos cursos de agua permanentes son aquellos que tienen su origen en la Cordillera de Los Andes donde son alimentados por el derretimiento de las nieves (Peña, 1994). La cuenca comprende una amplia diversidad geomorfológica y climática. La parte superior de la cuenca se encuentra en la Cordillera de Los Andes con alturas de hasta más de 5.500 m.s.n.m., con grandes pendientes, hasta el nivel y desembocadura en el Océano Pacífico, en una distancia máxima de aproximadamente 180 km.

Esta disposición diferencia una zona de altura con cauces muy estrechos y caudales relativamente menores, rápidos y aguas frías; una zona intermedia y otra baja en que los cauces se ensanchan y aumenta el caudal y la temperatura hasta desembocar en el Océano Pacífico.

Esta condición geomorfológica genera una actividad erosiva alta en la parte superior y la depositación de sedimentos en los valles medios y bajos. Consecuentemente, la mayor parte de los cursos de agua presentan alta inestabilidad física del sustrato, ya "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

sea por socavamiento del fondo y de las orillas, por la erosión que produce el flujo de las aguas, especialmente en las partes altas, como también por la sedimentación de sólidos suspendidos y arrastrados por ellas; esto se produce principalmente en las zonas medias y bajas donde se han formado terrazas fluviales, que permiten un intenso uso agrícola.

La cuenca del río Elqui se ha dividido en tres zonas (alta, media y baja) según la cota que presenta el cauce. Las características geomorfológicas de cada una de ellas son las siguientes:

Zona Alta: Abarca desde el nacimiento de los cursos de agua en la parte alta de la Cordillera de los Andes, cuyas cumbres alcanzan hasta más de 6.000 m.s.n.m., hasta aproximadamente 1.500 m.s.n.m. El relieve se caracteriza por valles estrechos con pendientes pronunciadas que superan el 45%, lo que se asocia a altos valores de escorrentía y de erosión.

Zona Media: Se extiende aproximadamente entre los 300 a 1.500 m.s.n.m. Es una zona de transición puesto que en la porción superior aún está presente la influencia del relieve cordillerano con fuertes pendientes; las que disminuyen y no superan el 30% en la parte inferior. El macizo montañoso aparece desmembrado y discontinuo debido a la intensa disección fluvial que ha experimentado. Dentro de esta macro unidad está la sub unidad quebradas, valles y terrazas fluviales. Aquí los drenes de segunda jerarquía desembocan a los sistemas fluviales principales mediante grandes conos de deyección torrencial que han invadido parte de los valles, sepultando los sedimentos de la caja de los ríos, lechos de inundación e incluso algunos niveles de terrazas fluviales. Se llegan a distinguir cuatro niveles de terrazas fluviales presentándose en forma más nítida y bien desarrollada el nivel superior y el inferior (Paskoff, 1970). Los valles se hacen más abiertos, con pendientes menores lo cual permite el desarrollo de las actividades agrícolas.

Zona Baja: Se extiende aproximadamente desde los 300 m.s.n.m. hasta la desembocadura del Río Elqui. Es una zona de cordones montañosos más bajos (aproximadamente de 1.000 a 1.500 m.s.n.m.) y erosionados que la Cordillera de Los Andes debido a su mayor antigüedad (Cretásico medio), (Benítez ,1994).

El cauce del río alcanza su ancho máximo de 100 a 200 m. Las terrazas fluviales

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

alcanzan su desarrollo máximo con varios niveles. En el sector del litoral se observan terrazas de origen marino con anchos aproximados de un par de kilómetros. La acumulación de gran cantidad de sedimentos (antes del embalse Puclaro) en la desembocadura del Río Elqui y la formación de barreras dunarias formadas por el oleaje y el viento, han permitido la formación de una extensa superficie de baja altura y acumulación de aguas superficiales y subsuperficiales. Ellas han dado origen a lagunas y pajonales que hasta antes de ser drenadas e intervenidas se extendían por aproximadamente 20 km de largo y 2 km de ancho (MOP, 2002).

1.7.- Suelos.

En la franja litoral se desarrollan suelos aluviales sobre terrazas marinas y fondos de valles fluviales; estos suelos han evolucionado a partir de sedimentos marinos y continentales. Se denominan suelos de praderas costeras o molisoles, son de color pardo, textura fina, compuestos por arenas y limos. En los niveles superiores de terrazas predominan las arcillas.

En la cuenca del río Elqui, predominan los suelos rojos litosólicos que muestran una formación de arcilla y algunas segregaciones de limo en las grietas de las rocas subyacentes. En antiguos paisajes remanentes hay suelos rojos desérticos más desarrollados y bien diferenciados; ellos tienen en sus primeros 50 cm de profundidad (Horizonte A) suelos de color pardo claro, de textura gruesa. En el lecho del río, los suelos presentan texturas gruesas con gravas y piedras de aluviones. Litosoles en los sectores montañosos. En el curso medio del Valle de Elqui predominan los suelos aluviales denominados pardo-cálcicos o alfisoles. Son suelos originados tanto por sedimentos aportados por el río Elqui como también por materiales provenientes de los interfluvios montañosos (MOP, Meléndez 1972).

1.8.- Población.

Desde el punto de vista político - administrativo, la cuenca del río Elqui forma parte de la IV Región de Coquimbo, abarcando la provincia de Elqui y las comunas de La

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Serena, Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paiguano y Vicuña. A continuación la tabla 1.3 nos muestra la población censada en los años 1992 y 2002. Luego en la tabla 1.4, se muestra un recuento de los censos desde 1865 hasta el último realizado en el año 2002, donde se ven los porcentajes de población tanto urbana y rural para la región

Tabla 1.3 Censos de 1992 y 2002.

	CENSO 1992	CENSO 2002
Región de Coquimbo	504.387	603.210
Pro	ovincia de Elqui	
La Serena	120.816	161.243
Coquimbo	122.766	163.557
Andacollo	12.246	10.411
La Higuera	3.498	3.660
Paihuano	3.772	4.205
Vicuña	21.660	23.665

Sin duda las ciudades de La Serena y Coquimbo, tuvieron las mayores tasas de crecimiento de la población las cuales superaron el 30%, a diferencia de los pueblos interiores donde no se superó el 10% de crecimiento de la población y en el caso de Andacollo donde la población residente disminuyó un 15 %.

Tabla 1.4 Porcentaie de población urbana y rural

AÑOS CENSADOS	POBLACIÓN URBANA (%)	POBLACIÓN RURAL (%)
1865	29	71,0
1875	43,8	56,2
1885	54,6	45,4
1895	54,2	45,8
1907	30,0	70,0
1920	34,1	65,9
1930	32,0	68,0
1940	34,8	65,2
1952	39,4	60,0
1960	51,8	48,2
1970	60,3	39,7
1982	73,6	26,4
1992	74,4	25,6
2002	79,2	20,8

Como se aprecia en la tabla anterior el porcentaje de población rural ha disminuido de manera notoria durante la historia de los CENSOS, la cual muestra la transformación o evolución que ha sufrido el país.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1.8.1.- Actividades Económicas.

Dentro de las actividades económicas el sector que posee mayor fuerza laboral en la región es el conformado por la agricultura, caza y pesca y la silvoagropecuaria.

En la tabla 1.5 que se muestra a continuación, se puede ver la distribución de la fuerza laboral para el periodo 1990-1999, donde la mayor cantidad de trabajadores lo abarca el sector de agricultura, caza y pesca seguido por el sector comercio.

Tabla 1.5 Distribución de la fuerza laboral por actividades 1990-1999.

Actividad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Agricultura, caza y pesca.	50.400	50.070	53.430	54.720	52.940	54.390	51.410	51.100	52.710	54.610
Minería	11.500	11.750	11.590	10.250	9.900	10.090	12.170	11.070	11.330	8.914
Industria.	14.400	14.660	15.400	14.720	15.950	17.130	15.790	17.290	21.620	18.536
Electricidad, gas y agua.	800	450	500	500	820	800	800	830	810	953
Construcción.	9.000	10.440	12.270	15.130	14.920	13.400	15.380	17.640	20.260	19.337
Comercio.	23.700	27.570	29.250	32.350	32.160	30.590	32.860	34.360	28.500	37.208
Transporte y comunicaciones.	11.100	10.640	10.410	10.180	11.550	13.150	11.570	14.440	15.920	13.654
Servicios financieros.	3.500	4.220	4.620	5.540	5.590	5.480	6.300	6.610	6.870	9.294
Servicios comunales, sociales y personales.	28.400	29.310	29.920	34.180	34.920	33.170	36.230	37.620	37.820	42.206

Fuente: Indicadores de empleo INE.

1.9.- Demanda de Recursos Hídricos (MOP, 2002).

Para efectos de individualizar las demandas de recursos hídricos en la cuenca del río Elqui, se definen tres sectores principales a considerar: agropecuario, agua potable e industria y minería. A continuación se presenta una descripción de las demandas actuales y sus proyecciones, para cada sector especificado:

Sector Agropecuario: Actualmente constituye el mayor demandante de agua en esta cuenca. Con la construcción del embalse Puclaro se alcanzan 20.700 ha. regadas aproximadamente, lo que significo más que duplicar el área regada existente hasta antes de la construcción del embalse. La obra beneficia a 2.508

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

predios con un tamaño medio de 8 ha. por predio. Hay que mencionar también el aumento de la superficie cultivada aguas abajo y aguas arriba del embalse donde se están cultivando en las zonas de inundación del río además de las laderas de los cerros.

- ➤ Sector Agua Potable: Se estima que la demanda bruta de agua potable pasará, del año 1992 al 2017, de: 262 a 521 l/s en La Serena; 259 a 522 l/s en Coquimbo; 19 a 40 l/s en Andacollo; y de 13 a 19 l/s en Vicuña. En otras palabras, se estima que la demanda total de agua potable se duplicará en un período de 20 años.
- Industria y Minería: Para el caso de la minería y de las actividades industriales, no se espera un mayor crecimiento de la demanda hídrica.

En la tabla 1.6 se presentan las demandas actuales y futuras (medias anuales) en tres estaciones fluviométricas representativas de la cuenca; estas demandas se encuentran separadas por actividad.

Tabla 1.6 Demanda actual y futura.

			ESTAC	IÓN					
ACTIVIDAD	Río Claro e	en Rivadavia	Río Elqui en	Algarrobal	Río Elqui en Almendral				
ACTIVIDAD	Demanda Actual (m³/s)	Demanda Futura (m³/s)	Demanda Actual (m³/s)	Demanda Futura (m³/s)	Demanda Actual (m³/s)	Demanda Futura (m³/s)			
Agrícola	0,5	0,5	1,3	1,3	3,4	6,1			
Agua Potable	0,0	0,0	0,01	0,02	0,6	1,3			
Industrial	0,0	0,0	0,02	0,12	0,1	0,3			
Minería	0,3	0,4	0,1	0,2	0,0	0,0			

Fuente: Evaluación Ambiental Regional de la Cuenca del Río Elqui, Ministerio de Obras Públicas 2002.

En cuanto a las demandas previstas, el agua subterránea tendrá un rol importante, solamente en la zona baja de la cuenca. En este contexto, existen versiones encontradas sobre el volumen de extracción de agua. De este modo, se estima que en un año hidrológico normal (P_{50%}) desde la cuenca del río Elqui se extrae un caudal subterráneo no superior a 1,85 m³/s. En lo que respecta al acuífero Pan de Azúcar se

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

extrae un caudal subterráneo de 1,12 m 3 /s en un año normal ($P_{50\%}$), mientras que para un año seco ($P_{95\%}$) este valor se eleva a 1,89 m 3 /s. A diferencia de lo anterior, la Dirección General de Aguas, el Gobierno Regional de Coquimbo y AC (1998) estimaron la explotación de este acuífero en un promedio de 0,563 m 3 /s.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO II

"EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO".

2.1.- El efecto Invernadero.

2.1.1.- Historia del Efecto Invernadero (EI).

El efecto invernadero es un proceso natural que ha existido siempre, el cual ha mantenido la Tierra más cálida de lo que estaría sin atmósfera. Así, lo que se denomina hoy en día como **El** es el aumento antropogénico de este efecto, el cual produce un calentamiento adicional de la superficie de la Tierra y de la atmósfera baja.

En 1863, Tyndall sugirió que pequeños cambios en la composición atmosférica (recordemos que el CO₂ representa el 0,03% en volumen de la atmósfera) podrían alterar el clima. Treinta y tres años más tarde, el sueco Svante Arrhenius introdujo la posibilidad de un **El** inducido por el hombre (que él consideró beneficioso) al calcular que un valor doble de las emisiones de CO₂ implicaría un aumento de temperaturas de entre 4 y 6 °C; sin embargo, no se prestó especial importancia al problema hasta la década de los 70.

No obstante, con la creación del IPCC en 1988 y con la difusión de sus informes evaluadores, se ha logrado el consenso necesario en la materia para estimular medidas y políticas respecto a los gases de **EI**. A continuación se da una breve explicación del fenómeno.

La Tierra, al girar alrededor del Sol, recibe de éste 1,7*10¹⁴ Kw, pero incluso esta pequeña fracción de energía (0,00000046% del total emitido) equivale a 5000 veces el total del consumo energético de la población de la Tierra.

La cantidad de energía que recibe la Tierra es constante, y se conoce como constante solar, la cual tiene como valor estándar: ICS = 1.353 W/m². De esta energía, el 31% es reflectada por las nubes, aerosoles y la atmósfera, el 20% es absorbido por la atmósfera y el 49 % restante es absorbido por la superficie, el cual retorna a la atmósfera como calor latente y radiación infrarroja. En la figura 2.1 se puede apreciar el balance energético completo de la tierra suponiendo que la radiación entrante es de 342 W/m².

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

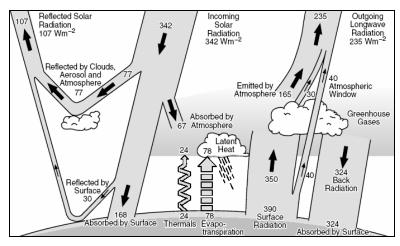


Figura 2.1. Balance de Energético de la Tierra. Fuente: Kiehl and Trenberth, 1997.

El sol emite tres rangos de frecuencia de radiaciones electromagnéticas que llegan a la tierra; Los rayos infrarrojos, la luz visible, y los rayos ultravioletas. En la figura 2.2 se muestran los tipos de radiaciones y sus longitudes de onda. Al respecto, conviene recordar que la velocidad de las radiaciones electromagnéticas es constante $3x10^{-5}$ km seg $^{-1}$. Puesto que dicha velocidad "v" es igual al producto de la frecuencia por la longitud de onda v = γ * l, ello implica que la frecuencia y la longitud de onda varían de modo inverso.

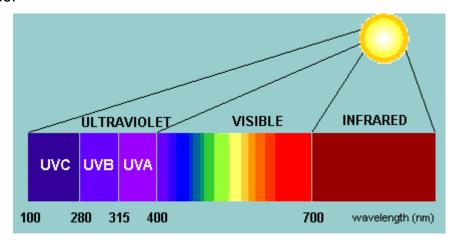


Figura 2.2 Espectro de radiación solar. Fuente: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.

La radiación solar pasa a través de la atmósfera e incide en la superficie de la Tierra. Parte de la radiación de onda corta se refleja de nuevo al espacio por el efecto de las nubes y de pequeñas partículas (aerosoles), mientras que el resto se distribuye por la atmósfera y el océano y se re-irradia al espacio con una longitud de onda mayor

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

(infrarroja). Sin embargo, parte de esta radiación térmica de mayor longitud de onda es absorbida por gases activos radiativamente (gases de efecto invernadero, que son transparentes a la radiación de alta frecuencia procedente del Sol, pero son opacos a la radiación de onda larga, térmica, que emite la Tierra) en la atmósfera, principalmente vapor de agua, pero también CO₂, CH₄, CFC, Ozono y otros más. La presencia natural de estos gases en la atmósfera, es necesaria para la vida, pues atrapan el calor en la baja atmósfera creando un ambiente más cálido del que habría en una atmósfera que no los incluyera.

Es el aumento de la concentración de GEI lo que provoca una absorción adicional de radiación infrarroja, que de otra forma se liberaría al espacio. El resultado es que la Tierra pierde menos calor del que perdería en ausencia de GEI y consecuentemente provoca un calentamiento de la atmósfera. Este fenómeno es conocido como EI, (Stanners & Burden, 1995).

2.2.- Forzamiento Radiativo, Agentes de Forzamiento Climático y Gases de Efecto Invernadero.

Se denomina forzamiento radiativo al cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra, medido en el borde superior de la troposfera (12.000 m sobre el nivel del mar). Este forzamiento se debe a cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar; este forzamiento se expresa en W/m². Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento. En tanto el forzamiento climático es un mecanismo que altera el balance de energía global, el forzamiento puede ser natural como por ejemplo variaciones en la orbita terrestre, variando la radiación solar que la tierra recibe o inducido por actividades biologicas (por ejemplo, metano producido por termitas) o humanas, las cuales tienen como producto, agentes forzadores del clima, como lo son los aerosoles y gases de efecto invernadero. En la figura 2.2 se aprecian los agentes forzadores y su forzamiento radiativo estimado desde el comienzo de la era industrial (1750) hasta (1999), para los agentes de forzamiento naturales y antropogénicos cuantificables. Sin embargo vale la pena "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

recordar aquí que el principal agente forzativo de la atmósfera terrestre ha sido la absorción de CO₂, por lo vegetales, que junto con las aguas oceánicas profundas han mantenido los contenidos de CO₂ dentro de los límites favorables para la vida.

Estos forzamientos radiativos se deben a los cambios en la composición atmosférica, a la alteración de la reflectancia superficial por el uso de la tierra y a la variación en las emisiones del Sol. Con excepción de la variación solar, hay alguna forma de actividad humana ligada a cada forzamiento.

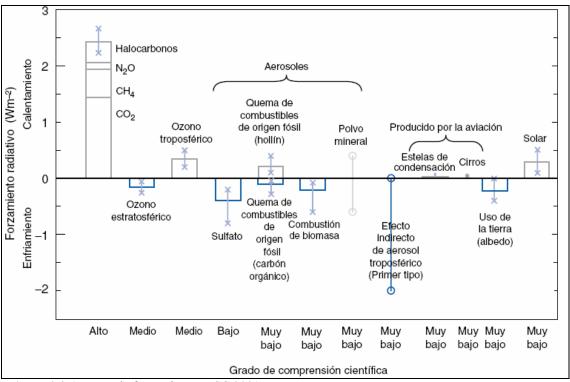


Figura 2.3 Agentes de forzamiento IPCC 2001.

En la figura 2.3 las barras rectangulares representan los cálculos de las contribuciones de estos forzamientos, algunos de los cuales producen calentamiento, y otros enfriamientos. No se considera el forzamiento debido al material particulado y aerosoles debido a los fenómenos episódicos volcánicos, que llevan a un forzamiento negativo que dura sólo unos años. La altura de la barra rectangular denota un valor central o la mejor estimación, en tanto que su ausencia denota que no es posible calcular una mejor estimación. Las líneas verticales situadas sobre las barras rectangulares con delimitadores "x" indican una estimación del margen de

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

incertidumbre, provocado en su mayor parte por la dispersión en los valores publicados del forzamiento. Una línea vertical sin barra rectangular y con delimitadores "o" denota un forzamiento para el cual no puede darse ninguna estimación central, debido a grandes incertidumbres. El margen de incertidumbre especificado aquí no tiene fundamentación estadística. Se otorga un índice de "grado de comprensión científica" a cada forzamiento, con niveles alto, medio, bajo y muy bajo, respectivamente. Esto representa el juicio subjetivo acerca de la fiabilidad del cálculo del forzamiento, que implica factores tales como los supuestos necesarios para evaluar el forzamiento, el grado de conocimiento de los mecanismos físicos/químicos que determinan el forzamiento y las incertidumbres que rodean el cálculo cuantitativo del forzamiento. Los gases de efecto invernadero (GEI) bien mezclados se agrupan juntos en una sola barra rectangular, mostrando las contribuciones medias individuales debidas al CO₂, el CH₄, el N₂O y los halocarbonos. La quema de combustibles de origen fósil se divide en componentes "hollín" y "carbón orgánico". El forzamiento indirecto debido a los aerosoles troposféricos no se comprende bien. Lo mismo ocurre con el forzamiento debido a la aviación, por sus efectos sobre las estelas de condensación y las nubes cirros. Sólo se tiene en cuenta aquí el tipo de efecto indirecto debido a los aerosoles, como aplicable en el contexto de las nubes líquidas. El forzamiento vinculado a los aerosoles estratosféricos procedentes de erupciones volcánicas es muy variable a lo largo del período y no se tiene en cuenta para este diagrama. Todos los forzamientos que se indican tienen distintas características espaciales y estacionales, de modo que las medias anuales mundiales que aparecen en el diagrama no brindan un cuadro completo de la perturbación radiativa. Sólo pretenden dar, en un sentido relativo, una perspectiva de primer orden en una escala media anual mundial y no pueden emplearse fácilmente para obtener la respuesta climática a los forzamientos totales, naturales y/o antropogénicos.

2.2.1.- Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Los gases de efecto invernadero han existido siempre y seguirán existiendo. A lo largo de la historia de la tierra se han producido variaciones naturales en las

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

concentraciones de los GEI donde se ha pasado por periodos glaciares y periodos interglaciares como lo es el actual. En los periodos glaciares las concentraciones de los GEI son bajas, con lo cual disminuye la retención de calor en la tierra (EI). En estos períodos pueden influir factores astronómicos como la órbita terrestre o la inclinación de la tierra para los efectos de la radiación recibida. En los periodos interglaciares las concentraciones de GEI aumentan; estos aumentos se pueden ver influenciados por la actividad volcánica y el aporte de CO₂ que realizan los océanos los cuales son grandes reservorios. De esta forma se han producido variaciones naturales en las concentraciones de estos gases, pero nunca antes se habían superado las 300 ppm de CO₂. En la figura 2.4 se muestran registros de cuatrocientos mil años de variaciones en las concentraciones de CO₂. La notable regularidad en las variaciones de CO₂ en ciclos que van de las decenas a centenas de miles de años, y que se acompaña de cambios paralelos en los contenidos de CO₂, no pueden tener al CO₂ como variable independiente. Ello, porque no se conoce ningún mecanismo regular que las pudiera explicar. En cambio, la variación en radiación solar basadas en los ciclos astronómicos de Milankovic permiten entender que un calentamiento de los océanos libere parte del CO₂ contenido en ellos (ver figura 2.5). A su vez ello debe generar mayor productividad biológica y por lo tanto un incremento de CH₄, así como de la temperatura terrestre. En consecuencia, es el aumento del calor en la atmósfera el probable responsable del aumento de CO2 y no a la inversa. Sin embargo el hecho de que actualmente se superponga un máximo de CO₂ (Figura 2.4) con la generación antrópica del gas, debe ser motivo de preocupación.

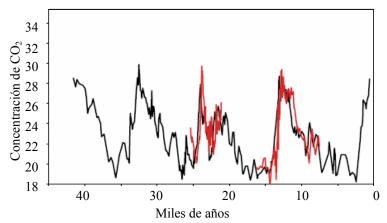


Figura 2.4. Concentración de Co₂ en muestras de hielo antártico en Vostok; los diferentes colores representan resultados de estudios diferentes, IPCC 2001.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La figura 2.5 muestra los mayores reservorios y flujos del ciclo del carbón global.

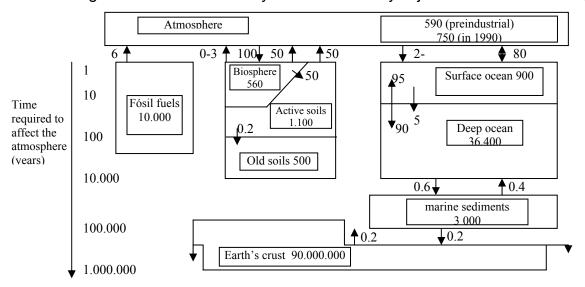


Figura 2.5 Los mayores reservorios y flujos del ciclo del carbono, incluyendo escalas de tiempo. Las unidades de los valores son en PgC (1 PdC = 10^{15} g C) PgC/yr. Extraído de Earth System Science, 2000.

A continuación en la figura 2.6 se muestra la evolución de los principales GEI en los últimos mil años.

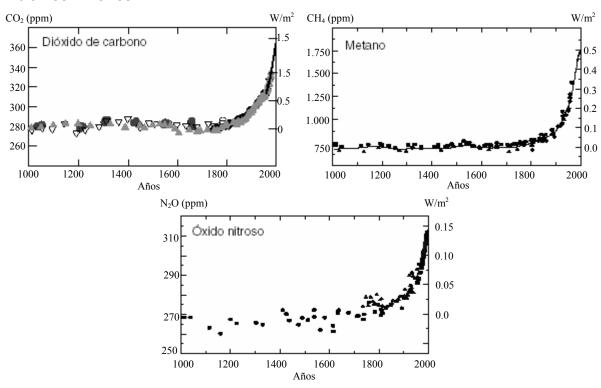


Figura 2.6 Concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O en los últimos mil años. Los datos son provenientes de muestras de hielo y neviza en varios emplazamientos de la Antártica y Groenlandia, los cuales se señalan con símbolos diferentes; los datos son completados con muestras atmosféricas directas en los últimos decenios, además en la escala a la derecha se indica el forzamiento radiativo estimado (IPCC 2001).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En la figura 2.7 se llustra la influencia de las emisiones industriales en las concentraciones atmosféricas de sulfato (cruces), las cuales producen un forzamiento radiativo negativo. Se muestra el diagrama evolutivo de las concentraciones de sulfato, no en la atmósfera sino en varias muestras de hielo en Groenlandia, las cuales se

indican mediante líneas; en la figura se han eliminado los efectos episódicos de las erupciones volcánicas.

Estos datos indican la deposición local de aerosoles de sulfatos en el lugar, lo cual refleja las emisiones de anhídrido sulfuroso (SO₂) en las latitudes medias del hemisferio norte.

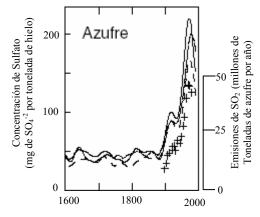


Figura 2.7 Concentración de Sulfatos (líneas) y emisiones de SO₂ (+)

Este registro, a pesar de ser de un ámbito más regional que el de los GEI mezclados a escala mundial, demuestra el gran crecimiento de las emisiones antropogénicas de SO₂ durante la era industrial. Los signos + indican las emisiones regionales Importantes de SO₂ calculadas (escala de la derecha).

También tenemos que considerar el vapor de agua, el cual depende principalmente de la temperatura. Cuando se eleva la temperatura de la atmósfera se eleva la capacidad de retención de agua y viceversa.

Este vapor de agua contribuye a la formación de nubes, las cuales generan un efecto radiativo inverso ya que la reflexión de la parte superior de las nubes es mayor que la de la superficie de la Tierra por lo que la cantidad de energía solar reflejada al espacio en días nublados es mayor que en días despejados. Aunque la mayor parte de la radiación solar es reflejada por las capas superiores de las nubes, algo de radiación penetra hasta la superficie terrestre, que la absorbe y la emite de nuevo. La parte inferior de las nubes es opaca para esta radiación terrestre de onda larga y la refleja de vuelta a la Tierra.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2.3.- Cambios Observados en las Concentraciones de GEI. (IPCC 2001)

2.3.1.- Dióxido de Carbono (CO₂)

La concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999 un 31%. La concentración actual de CO₂ no ha sido superada en los últimos 400.000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años (ver figura 2.3). La tasa de aumento en el siglo pasado no tiene precedentes, por lo menos durante los últimos 20.000 años.

La composición isotópica del CO₂ y la disminución observada en el oxígeno (O₂) demuestran que el aumento observado en CO2 se debe predominantemente a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles de origen fósil y la deforestación. Un conjunto creciente de datos paleo atmosféricos obtenidos en aire atrapado en el hielo durante centenares de milenios, ofrece un contexto para el aumento en las concentraciones de CO₂ durante la Era Industrial. Comparado con las concentraciones relativamente estables de CO₂ (280 ± 10 ppm) de los varios milenios precedentes, el aumento durante la Era Industrial es espectacular. El ritmo medio de aumento desde 1980 es de 0,4% por año. El aumento es consecuencia de las emisiones de CO₂. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la guema de combustibles de origen fósil; el resto (del 10 al 30%) se debe predominantemente a los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación. Luego tenemos que el CO2 es el gas dominante de efecto invernadero por influencia humana, con un forzamiento radiativo actual de 1,46 W/m². Las mediciones directas en la atmósfera de las concentraciones de CO2 hechas en los últimos 40 años muestran grandes fluctuaciones de un año a otro en el ritmo de aumento de CO₂ en la atmósfera. En los años noventa, los ritmos anuales de aumento de CO₂ en la atmósfera variaron de 0,9 a 2,8 ppm/año, lo que equivale a 1,9 a 6,0 PgC*/ año. Esos cambios anuales pueden vincularse estadísticamente con la variabilidad del clima a corto plazo, que altera el ritmo en que el CO2 atmosférico es

^{*} Peta-gramo de carbono. 1 Peta-gramo de carbono = 1.000 millones de toneladas de carbono.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

absorbido y liberado por los océanos y la tierra.

2.3.2.- Metano (CH₄).

Las concentraciones de metano (CH₄) en la atmósfera han aumentado en un 150% (1,060 ppmm) desde 1750. La concentración actual de CH₄ no ha sido superada durante los últimos 400.000 años. El metano es un gas de efecto invernadero que procede de fuentes tanto naturales (humedales) como antropogénicas (actividades agrícolas como la producción de arroz, actividades de producción de carbón, petróleo, gas natural y vertederos). Como se muestra la figura 2.8a, desde 1983 se han hecho mediciones sistemáticas y representativas de la situación mundial de la concentración de CH₄ en la atmósfera, y el registro de las concentraciones en la atmósfera se ha extendido a épocas anteriores a partir del aire extraído de muestras de hielo y capas de neviza (figura 2.8b). El forzamiento radiativo directo actual del CH₄ de 0,48 W/m² representa un 20% del total de todos los GEI. La concentración de CH₄ en la atmósfera sigue aumentando, desde unas 1.610 ppmm en 1983 a 1.745 ppmm en 1998, pero el incremento anual observado ha disminuido durante este período. El aumento fue muy variable en los años noventa, fue casi nulo en 1992 y ascendió a 13 ppmm durante 1998.

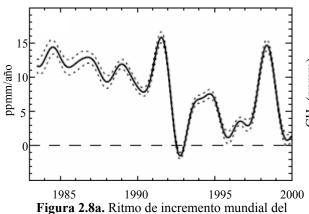


Figura 2.8a. Ritmo de incremento mundial del metano atmosférico. Las líneas punteadas representan las incertidumbres desviación normal $de \pm 1$.

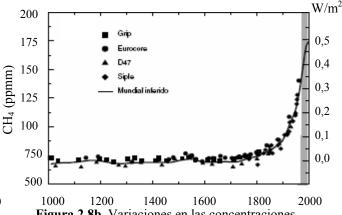


Figura 2.8b. Variaciones en las concentraciones de metano determinados a partir de hielo neviza y muestras de aire durante los últimos 1000 años.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2.3.3.- Oxido Nitroso (N2O).

La concentración del óxido nitroso (N_2O) en la atmósfera ha aumentado constantemente durante la era industrial y ahora es un 16% (46 ppmm) mayor que en 1750. La concentración actual del N_2O no ha sido superada durante los últimos mil años por lo menos. El óxido nitroso proviene de fuentes tanto naturales como antrópicas y es eliminado de la atmósfera por reacciones químicas. Las concentraciones atmosféricas del N_2O siguen aumentando a un ritmo del 0,25% por año (periodo 1980-1998).

Se han observado importantes variaciones interanuales en la tendencia ascendente de las concentraciones de N_2O , como por ejemplo, una reducción del 50% del ritmo de crecimiento anual de 1991 a 1993 para lo cual se han sugerido múltiples causas, dentro de las que se encuentra una reducción en el uso de abonos a base de nitrógeno.

Desde 1993, el aumento en las concentraciones de N_2O ha vuelto a ritmos más próximos a los observados durante los años ochenta. Aunque estas variaciones observadas a través de varios años han ofrecido cierta posible comprensión acerca de cuáles son los procesos que controlan el comportamiento del N_2O en la atmósfera, las tendencias a través de varios años de este GEI se mantienen en gran medida sin explicación.

2.3.4.- Halocarbonos y compuestos relacionados.

Las concentraciones atmosféricas de muchos de esos gases, que son a la vez destructores de la capa de ozono y causante de efecto invernadero, están disminuyendo (CFC-11, CFC-113, CH₃CCl₃ y CCl₄) o aumentando más lentamente (CFC-12), en respuesta a la reducción de emisiones en virtud de la reglamentación del Protocolo de Montreal⁴ y sus enmiendas. Muchos de esos halocarbonos son también gases de efecto invernadero muy persistentes y con efecto radiativo.

Los halocarbonos son compuestos de carbono que contienen flúor, cloro, bromo o yodo. La mayoría de estos compuestos tienen como única fuente las actividades

^{*} El Protocolo de Montreal controla el consumo y producción de sustancias químicas con contenido de cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico, como los CFC, el metilcloroformo, el tetracloruro de carbono y otros.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

humanas. Los halocarbonos que contienen cloro (por ejemplo, los clorofluorocarbonos - CFC) y bromo (por ejemplo, los halones) producen la destrucción de la capa de ozono estratosférica y se encuentran controlados en virtud del Protocolo de Montreal. Los halocarbonos aportan un forzamiento radiativo de 0,34 W/m², que es el 14% del forzamiento radiativo de todos los GEI mezclados mundialmente.

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y hidrofluorocarbonos (HFC) están aumentando, como resultado de la continuidad de usos anteriores y de su utilización como sustitutos de los CFC. Las concentraciones actuales son relativamente bajas y la contribución actual de los HFC y HCFC al forzamiento radiativo, es también relativamente modesta y las emisiones futuras de estos gases están limitadas por el Protocolo de Montreal.

Los perfluorocarbonos (PFC, por ejemplo el CF₄ y el C2F₆) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) proceden de fuentes antrópicas y tienen tiempos de residencia en la atmósfera extremadamente largos absorbiendo gran cantidad de radiación infrarroja. De esta manera estos compuestos con emisiones relativamente reducidas tienen la posibilidad de influir sobre el clima por muchos años.

El perfluorometano (CF₄) permanece en la atmósfera unos 50.000 años, como mínimo. Tiene fuentes naturales, pero las emisiones antropogénicas actuales superan a las naturales por un factor de mil o más.

El hexafluoruro de azufre (SF₆) es un GEI 22.200 veces más eficaz que el CO₂, calculando por kg. Las concentraciones actuales en la atmósfera son muy escasas (4,2 ppb), pero tienen un ritmo de crecimiento importante (0,24 ppb por año).

2.3.5.- Ozono atmosférico O₃.

El ozono (O₃) es un importante gas de efecto invernadero, presente en la estratosfera y en la troposfera. La función del ozono en el balance de la radiación atmosférica depende en gran medida de la altitud a la cual se encuentre. El ozono no es un elemento emitido directamente, sino que se forma en la atmósfera a partir de procesos fotoquímicos en que intervienen especies precursoras, tanto naturales (RUV) como influidas por el ser humano (NO_x y COVs). Una vez formado, el tiempo de residencia del

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ozono en la atmósfera es relativamente breve debido a su gran reactividad, variando de semanas a meses. Como resultado, la estimación de la función radiativa del ozono es más compleja y mucho menos segura que para los GEI muy resistentes y bien mezclados en todo el mundo.

2.4.- Gases con Influencia Radiativa Indirecta.

Varios gases químicamente reactivos, comprendidas los compuestos reactivos del nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), controlan, en parte, la capacidad oxidante de la troposfera, así como la abundancia del ozono. Estos contaminantes actúan como GEI indirecto, por su influencia no sólo sobre el ozono, sino también sobre los períodos de vida del CH_4 y otros GEI. Las emisiones de NO_x y CO están dominadas por las actividades humanas.

Los compuestos reactivos del nitrógeno NO y NO₂, (cuya suma se denota como NO_x) son compuestos clave en la química de la troposfera, pero su impacto radiativo general sigue siendo difícil de cuantificar. La importancia de los NO_x en el balance de la radiación se debe a que los aumentos en las concentraciones de NO_x perturban a varios GEI; por ejemplo, reducciones en el metano y los HFC y aumentos en el ozono troposférico. La deposición de los productos de reacción de los NO_x fertiliza la biosfera, reduciendo de ese modo el CO₂ atmosférico.

2.4.1.- Aerosoles.

Se sabe que los aerosoles (diminutas partículas y gotitas en suspensión en el aire) influyen significativamente sobre el balance radiativo de la Tierra/atmósfera. Los efectos radiativos de los aerosoles se producen de dos maneras distintas: i) el efecto directo, por el cual los propios aerosoles dispersan y absorben radiación infrarroja solar y térmica, y ii) el efecto indirecto, por el cual los aerosoles modifican las propiedades microfísicas y por lo tanto las radiativas y la nubosidad. Los aerosoles son producidos por diversos procesos, tanto naturales (comprendidas las tormentas de polvo y la actividad volcánica) como antrópicos (comprendidas la quema de combustibles de

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

origen fósil y la combustión de biomasa).

Los aerosoles experimentan cambios químicos y físicos mientras están en la atmósfera, sobre todo dentro de las nubes, y son eliminados en gran medida y relativamente rápido por las precipitaciones. Debido a este breve tiempo de residencia y a la falta de homogeneidad de las fuentes, los aerosoles se distribuyen de modo heterogéneo en la troposfera, con sus máximos cerca de las fuentes. El forzamiento radiativo debido a los aerosoles depende no sólo de esas distribuciones espaciales, sino también del tamaño, la forma y la composición química de las partículas y también de diversos aspectos del ciclo hidrológico (por ejemplo, la formación de nubes).

2.5.- Cambios Observados en Otros Agentes de Forzamiento. 2.5.1.- Cambios en el Uso del Suelo.

El uso del suelo es un agente de forzamiento que influye en el calentamiento debido al albedo que posee. El albedo es la radiación solar reflejada por una superficie u objeto que a menudo se expresa como porcentaje, el cual varía de acuerdo a la cubierta del suelo.

Los cambios en el uso del suelo, donde el principal factor es la deforestación, parece haber producido un forzamiento radiativo negativo (figura 2.2); el grado de entendimiento que existe de este factor es muy bajo.

El mayor efecto estaría en las latitudes altas, debido a que la deforestación hace que las tierras con bosques y nieve, queden solamente con esta última cambiando su albedo a un albedo superior. Como se mencionó anteriormente el nivel de comprensión existente de este forzamiento es escaso y han habido menos investigaciones de esto en relación a los otros factores.

2.5.2.- Cambios en la Actividad Solar y Volcánica.

La fuente fundamental de toda energía en el sistema climático de la tierra es la radiación del sol, por lo que la variación en la energía solar es una agente de

^{*} El albedo es la radiación solar reflejada por una superficie u objeto que a menudo se expresa como porcentaje, el cual varía de acuerdo a la cubierta del suelo (albedo del suelo).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

forzamiento radiativo. Se ha estimado que el forzamiento radiativo del sistema climático debido a los cambios a la irradiancia solar es de 0.3 ± 0.2 W/m² en el periodo 1750-2000. El valor absoluto de la irradiancia solar total (IST) espectralmente integrada que incide sobre la Tierra no excede de unos 4 W/m², pero las observaciones satelitales desde fines de los años setenta muestran relativas variaciones en los últimos dos ciclos de 11 años de actividad solar de alrededor del 0.1%, lo cual es equivalente a una variación en el forzamiento radiativo de alrededor de 0.2 W/m².

En los períodos 1880-1920 y 1960-1991 se produjeron varias erupciones explosivas donde los aerosoles estratosféricos generados por estas erupciones provocan un forzamiento negativo que dura algunos años, por lo que el mayor contenido de aerosoles estratosféricos sumado a las reducidas variaciones de la irradiancia solar determinan un forzamiento radiativo natural negativo neto en las últimas dos décadas.

2.5.3.- Cambios Observados en las Temperaturas y las Precipitaciones.

La temperatura media mundial en la superficie ha aumentado 0.6 ± 0.2 °C desde fines del siglo XIX. Y es muy probable que los años noventa hayan sido el decenio más cálido y 1998 el año más cálido, según los registros instrumentales, desde 1861(figura 2.8).

Como se indica en la Figura 2.9, la mayor parte del aumento de la temperatura mundial desde fines del siglo XIX se ha producido en dos períodos distintos: 1910 a 1945 y a partir de 1976. El ritmo de aumento de la temperatura para ambos períodos es de unos 0,15°C por decenio.

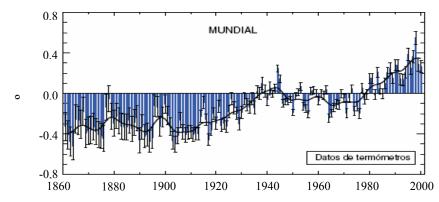


Figura 2.9 Variación de la temperatura anual combinada del aire en la superficie terrestre y en la superficie del mar (°C) en el período de 1861 a 2000. Folland et al., 2001.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

El calentamiento reciente ha sido mayor en tierra que en los océanos; el aumento de la temperatura en la superficie del mar durante el período 1950–1993 es aproximadamente la mitad del experimentado por la temperatura media del aire sobre la superficie del suelo.

A continuación en la figura 2.10 se muestran las tendencias de la temperatura anual en los períodos 1901-2000, 1910-1945, 1946-1975 y 1976-1999, respectivamente.

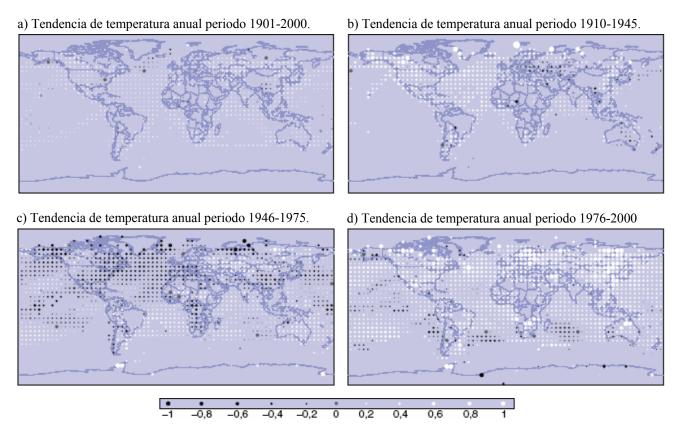


Figura 2.10 Tendencia de la temperatura anual. Las tendencias están representadas por la superficie del círculo; el blanco representa los aumentos, el negro las reducciones y el gris poco o ningún cambio adaptado de Jones et al. (2001).

Como se puede apreciar en la figura 2.10a, la tendencia de la temperatura para nuestra región es de un aumento aproximado de 0,2 °C por década considerando los últimos 100 años, pero si consideramos solamente los últimos 50 años nos encontramos con una tendencia totalmente distinta, donde la tendencia es a disminuir y no a aumentar como lo era a comienzos del siglo XX.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En la figura 2.11 se muestran las tendencias que han tenido las precipitaciones en todo el mundo, para los periodos de 1910-1945, 1946-1975 y 1976-1999 y finalmente se muestra la tendencia de las precipitaciones para el periodo 1900-1999.

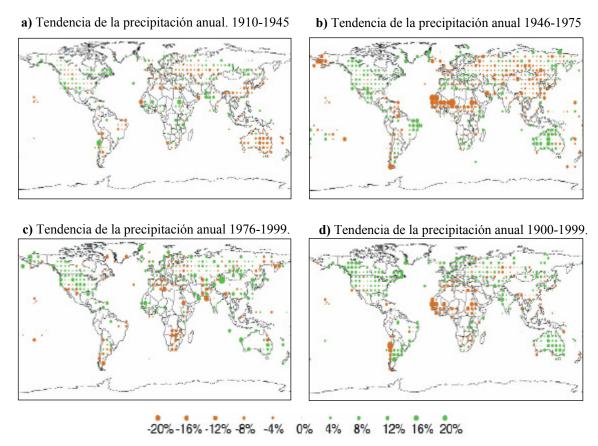


Figura 2.11 Tendencia de las precipitaciones. Las tendencias de las precipitaciones están representadas por las áreas de los circulos donde el círculo verde representa incremento y el café decrecimiento de las precipitaciones. Referencia IPCC 2001.

Analizando la figura 2.11 vemos que a comienzos del siglo pasado existió un sector en el norte de nuestro país con una marcada tendencia al incremento de las precipitaciones (fig. 2.11a) existiendo alrededor unos puntos de color café los cuales dicen lo contrario. Para las zonas contiguas, en los periodos restantes se aprecia solamente una tendencia a la disminución de las precipitaciones y en el periodo de 1900-1999 se nota una clara tendencia a la disminución, donde se aprecian valores de hasta el 20% menos.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2.5.4.- Cambios Observados en el Nivel del Mar.

Según los datos aportados por los mareógrafos, el ritmo de aumento del nivel medio del mar en todo el mundo durante el siglo XX varía entre 1,0 y 2,0 mm/año, con un valor central de 1,5 mm/año. En cuanto a los registros instrumentales más prolongados (dos o tres siglos, como máximo) del nivel del mar provienen de mareógrafos. Según los muy escasos registros prolongados de mareógrafos, el ritmo medio de aumento del nivel del mar ha sido más amplio durante el siglo XX que durante el XIX y no se ha detectado ninguna aceleración importante en el ritmo de aumento del nivel del mar durante el siglo XX.

Dentro de los factores más importantes en los cambios del nivel del mar se encuentra la expansión térmica, el agua más calida se expande más que el agua más fría entonces el cambio en el nivel del mar es el resultado de la variación geográfica de la expansión térmica, los cambios en la salinidad, los vientos y la circulación de los océanos. El nivel del mar también cambia cuando aumenta el volumen de agua, recordando que los grandes reservorios de agua son los glaciares y capas de hielo. Al respecto, la fusión de hielo flotante no implica cambios en la altura del nivel del mar, por cuanto ella se compensa por la mayor densidad del agua respecto al hielo. Sin embargo cuando las masas de hielo continentales se funden (p. ejemplo, las del continente Antártico) si se genera un aumento del nivel de los mares. Afortunadamente no hay indicios de que ello esté ocurriendo.

2.6.- Potenciales del Calentamiento de La Tierra.

Los potenciales de calentamiento de la tierra son una medida del efecto radiativo relativo de una sustancia dada en comparación con el CO₂, en un periodo de tiempo elegido.

Los potenciales de calentamiento de la tierra son un índice para calcular la contribución al calentamiento mundial relativo debido a la emisión a la atmósfera de un kilogramo de un determinado gas de efecto invernadero comparado con la emisión de un kilogramo de CO₂.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

A continuación, el la tabla 2.1 se muestran los potenciales de calentamiento de la tierra para gases cuyos períodos de vida han sido suficientemente caracterizados los cuales están en directa relación con el dióxidos de carbono.

Tabla 2.1 Potenciales del calentamiento de La Tierra. Fuente IPCC 2001.

Nombre del Gas	Nomenclatura	Período de vida	Potencial o	Potencial de calentamiento de la Tierra.								
Nombre del Gas	Nomenciatura	(años)	20 años	100 años	500 años							
Dióxido de Carbono	CO ₂		1	1	1							
	-	12	62	23	7							
Metano Óxido Nitroso	CH ₄	114	275	296	156							
OXIGO MIGOSO	N ₂ O			290	130							
HFC-23	CHF ₃	OFLUOROCARBON 260	9.400	12.000	10.000							
HFC-32	CH ₂ F ₂	5	1.800	550	170							
HFC-41	CH ₃ F	2,6	330	97	30							
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	5.900	3.400	1.100							
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	9,6	3.200	1.100	330							
HFC-134 ^a	CH ₂ FCF ₃	13,8	3.300	1.300	400							
HFC-143	CHF ₂ CH ₂ F	3,4	1.100	330	100							
HFC-143 ^a	CF ₃ CH ₃	52	5.500	4.300	1.600							
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	0,5	140	43	13							
HFC-152 ^a	CH ₃ CHF ₂	1,4	410	120	37							
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	0,3	40	12	4							
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	33	5.600	3.500	1.100							
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	13,2	3.300	1.300	390							
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃	10	3.600	1.200	390							
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	220	7.500	9.400	7.100							
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	5,9	2.100	640	200							
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,2	3.000	950	300							
HFC-365mfc	CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	9,9	2.600	890	280							
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	15	3.700	1.500	470							
		S TOTALMENTE F	LUORADOS									
SF ₆	SF ₆	3.200	15.100	22.200	32.400							
CF ₄	CF ₄	50.000	3.900	5.700	8.900							
C_2F_6	C_2F_6	10.000	8.000	11.900	18.000							
C_3F_8	C_3F_8	2.600	5.900	8.600	12.400							
C_4F_{10}	C_4F_{10}	2.600	5.900	8.600	12.400							
C_4F_8	C_4F_8	3.200	6.800	10.000	14.500							
C_5F_{12}	C_5F_{12}	4.100	6.000	8.900	13.200							
C_6F_{14}	C_6F_{14}	3.200	6.100	9.000	13.200							
-		Y ÉTERES HALOGE	ENADOS									
CH ₃ OCH ₃	CF ₃ OCHF ₂	0,015	1	1	<<1							
HFE-125	CHF ₂ OCHF ₂	150	12.900	14.900	9.200							
HFE-134	CH ₃ OCF ₃	26,2	10.500	6.100	2.000							
HFE-143 ^a	CF ₃ CHCIOCHF ₂	4,4	2.500	750	230							
HCFE-235da2	CF ₃ CH ₂ OCHF ₂	2,6	1.100	340	110							
HFE-245fa2	CF ₃ CH ₂ OCHF ₂	4,4	1.900	570	180							
HFE-254cb2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₃	0,22	99	30	9							
HFE-7100	C ₄ F ₉ OCH ₃	5	1.300	390	120							
HFE-7200	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0,77	190	55	17							

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

H-Galden 1040x	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6,3	5.900	1.800	560
HG-10	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12,1	7.500	2.700	850
HG-01	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6,2	4.700	1.500	450

Nota: En la tabla anterior se cuentan las moléculas orgánicas fluoradas, muchas de las cuales son éteres que han sido propuestos como sustitutos de los halocarbonos.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO III

"EL NIÑO, LA NIÑA Y VARIABLES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA"

Como se mencionó en el capítulo I el clima tanto de la Región como de la cuenca del Elqui poseen una gran variabilidad de un año a otro y son fuertemente influenciadas por los fenómenos El Niño y La Niña. Por este motivo se analizarán estos fenómenos antes del análisis de las variables climáticas.

3.1.- El Fenómeno de El Niño Oscilación Sur.

El fenómeno de El Niño es un término derivado de la "Corriente El Niño", descubierta a comienzos del siglo pasado por pescadores peruanos. Esta corriente marina de aguas anormalmente cálidas aparecía cada cierta cantidad de años cerca de la época de navidad, desplazándose desde el norte hacia el sur paralela a la costa sudamericana. El Niño ha recibido varias definiciones como por ejemplo que es "un período de 12-18 meses durante el cual se producen temperaturas anormalmente cálidas de la superficie del mar en la mitad oriental del Pacífico Ecuatorial. Moderados o fuertes los eventos de "El Niño" se producen de modo irregular alrededor de una vez cada 5-6 años, o algo así como promedio", (Gray, 1993).

Esta condición de anormalidad es capaz de producir alteraciones de los ecosistemas marinos, tanto del Perú y Chile. Además provoca grandes alteraciones atmosféricas.

Actualmente se sabe que corresponde a todo un fenómeno natural de interacción océano-atmósfera que ocurre en la región del Pacífico intertropical cada cierta cantidad de años y que se caracteriza por presentar condiciones de la temperatura del mar más cálidas que lo normal en una extensa área entre las costas sudamericanas y de Oceanía. El Niño corresponde a la componente oceánica y la Oscilación Sur a la componente atmosférica (Dirección Meteorológica de Chile).

Lo que ocurre en la atmósfera en presencia de El Niño es que los vientos alisios que normalmente soplan en la región intertropical desde América hacia Oceanía, se

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

debilitan y pueden llegar a cambiar de sentido, facilitando así el transporte de aguas calientes características del sector de Indonesia hacia las costas intertropicales sudamericanas y posteriormente hacia el istmo de Panamá y las costas norte de Chile.

En la atmósfera media y alta del Pacífico ecuatorial, los vientos del Este también se debilitan, permitiendo que la nubosidad convectiva del sudeste asiático se desplace hacia Sudamérica, produciendo intensas precipitaciones en Ecuador y Perú. Estas alteraciones atmosféricas, también hacen que la zona de altas presiones que se ubica sobre el Océano Pacífico frente a la parte norte y central de Chile (anticiclón del Pacífico), se desplace hacia el oeste, debilitando sus efectos en Chile y permitiendo así que los sistemas frontales que provienen del Pacífico sur, alcancen la zona central y norte chico del país, incrementándose la cantidad e intensidad de las precipitaciones en estos sectores (Dirección Meteorológica de Chile).

La circulación atmosférica en Chile, que determina las características climáticas del país, está definida por las características de dos factores: el anticición subtropical del Pacífico suroriental y el cinturón de bajas presiones subpolares. El primero corresponde a un área de altas presiones semipermanentes que afecta la zona norte y central del país, con fluctuaciones norte-sur en la ubicación de su borde sur durante el invierno (30° a 35° de latitud) y en verano (35° a 40° de latitud). El segundo factor es el cinturón de bajas presiones que se localiza entre los 45° y 55° de latitud sur, cuyos desplazamientos hacia latitudes menores ocurren con frecuencia en invierno, originando el desarrollo de sistemas frontales que incursionan regularmente entre La Serena y Concepción (Dirección Meteorológica de Chile).

En presencia de un evento de El Niño, el anticiclón subtropical del Pacífico se debilita en el sector oriental (frente a Chile) disminuyendo sus efectos en la zona central y norte chico del país facilitando el desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica, aumenta la frecuencia de bandas nubosas frontales y las intensifica, generándose así una mayor cantidad de precipitaciones. El desplazamiento del anticiclón subtropical del Pacífico hacia el oeste, facilita la presencia de capas atmosféricas inestables cercanas a la superficie, que se asocian a precipitaciones.

La fluctuación océano atmosférica ocurre a gran escala, El Niño/ Oscilación Sur

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

(ENSO), que se nota en las bajas latitudes desde África oriental hacia el este de América, se manifiesta con un sube y baja en las condiciones océano atmósfera entre el área del Océano Indico tropical y el Océano Pacífico tropical. El ENSO se relaciona con una fase de bajo índice de la Oscilación Sur y está asociado en el lado occidental del sube y baja, con una seguía en Australia oriental y septentrional, seguía en el este monzónico en Indonesia, deficiente lluvia monzónica de verano en India y deficiente Iluvia monzónica de verano en las alturas de Etiopia (traduciéndose en una débil contribución al sistema del río Nilo. En contraste en el lado oriental tenemos temperaturas superficiales del mar (TSM) anormalmente altas y lluvias por sobre de lo normal en el pacifico central y oriental, lluvias normalmente fuertes en Chile Subtropical. Por otro lado, el alto índice (fase anti-ENSO) de la Oscilación Sur se relaciona, en el lado occidental del sube y baja, con lluvia anormalmente fuerte en Australia oriental y septentrional, lluvia este monzónica anormalmente fuerte en Indonesia, lluvia monzónica de verano anormalmente fuerte en las altas de Etiopía. En contraste en el lado oriental del sube y baja, se relaciona con condiciones frías anti- El NIÑO en la región noroeste de la costa sudamericana con sus aguas frías de afloramiento, una zona seca en el pacífico ecuatorial la cual se extiende lejos hacia el oeste como resultado del agua marina subyacente causadas por fuertes vientos del este y lluvia anormalmente escasa en Chile subtropical. Las generalidades establecidas anteriormente ocurrirán frecuentemente y particularmente cuando los eventos pertenezcan a las categorías de intensidad fuerte y muy fuerte (Quinn, 1993).

Los criterios que usualmente se emplean para estudiar su intensidad son: El tamaño de las precipitaciones e inundaciones, la destrucción del terreno, la intensidad de los temporales, la subida de la temperatura de las aguas de los litorales, la subida del nivel de las aguas litorales la mortalidad de los organismos endémicos marinos y de aves que producen el guano (Quinn et al., 1987)

3.1.1.- Orígenes de El Niño.

En relación a los orígenes, se pueden distinguir cuatro grupos de opiniones las que se detallan a continuación.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La mayoría de los científicos asocia el fenómeno con la variación de los sistemas báricos del Pacífico austral, definido como Oscilación Austral por Walker y Bliss (1932), entendiendo que El Niño es el elemento importante de esta oscilación que tiene alcance global (Bjerknes 1969; Wyrtki 1973 y otros). La Aparición de El Niño se debe al resultado de las interacciones recíprocas que se producen entre el sistema de circulación de masas de aire, la dinámica superficial de estratos acuáticos y la variabilidad de vastas regiones del Pacífico Meridional Ecuatorial (Graham y White 1988).

Otros científicos asocian El Niño con la circulación vertical de aguas del Pacífico Septentrional y los cambios en la trayectoria de la corriente de Humbolt se interpretan en este contexto como las salidas periódicas de aguas frías de origen abisal hacia la superficie el Pacífico del Norte (Leclerc y Schrader 1987).

Mörner (1984; 1985; 1992) relaciona la aparición de ciclos de El Niño con las perturbaciones de la velocidad de rotación del eje terrestre.

Moseley et al (1992) reconociendo la relación entre El Niño y la Oscilación Sur desarrolla la hipótesis de que los Niños catastróficos, los Mega-Niño son siempre precedidos por temblores tectónicos y/o erupciones volcánicas, lo que conduce a la aparición de los ciclos violentos de alteraciones del medio ambiente.

3.1.2.- Clasificación del ENSO.

La clasificación se realiza de acuerdo a su intensidad la cual va desde débilmente moderado a muy fuertes pasando por moderados y fuertes (Mörner 1985, 1992) propone una categoría más, que sobrepasa a la muy fuerte, la cual denomina Super, también menciona la posible existencia de los Mega-ENSO de una fuerza catastrófica.

En la tabla 3.1 se muestra la clasificación de los tipos de ENSO, el periodo de ocurrencia y cada cuanto tiempo se presentan según Mörner.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 3.1 Clasificación de los tipos de eventos ENSO, Mörner 1992a.

Eventos.	Tiempo en el cual se presentan (Años)	Época en la cual ocurren u ocurrieron.
El Niño - ENSO	1-3	Este siglo también en el Holoceno
Super - ENSO	Hasta 100-150	Durante el Holoceno (unos 16 eventos)
Mega - ENSO	Hasta 1.000	13.5 a 9.5 Ka
Ausencia / presencia	104-105	Cambios de largo plazo, ciclo de Milankovitch.

3.1.3.- ENSOS Históricos y Paleo-ENSO.

A continuación en la tabla 3.2 se muestran los ENSO de los cuales se tiene registro, además de mostrar el año en que comenzó y terminó, donde E early, M mid y L es late, es decir un comienzo o termino del ENSO temprano, a mediados o tarde en el respectivo año; además se muestra el grado de intensidad (Str) el cual va de Moderado (M), fuerte (S) y muy fuerte (VS) con valores intermedios + o - y también se señala la confianza de la información (Conf) la cual tiene valores de 1 a 5 donde 1 es mínima y 5 es completa.

Tabla 3.2 ENSO Históricos. Referencia: Ouinn. 1993.

Yrs	Str	Conf	Yrs	Str	Conf	Yrs	Str	Conf	Yrs	Str	Conf
1525-E26	М	2	1671	M+	2	1785-86	M+	3	1880-81	M+	5
1531-E32	М	2	1681	S	2	1790-93	VS	5	1884-85	M+	4
1535	M+	2	1683-84	M+	2	1794-97	M+	3	L1887-E89	S	5
1539-41	S	2	1687-88	S	3	1799	М	2	1891	М	5
1544	M+	3	1692	M+	2	1802-04	S+	5	1896-97	M+	5
1546-47	S	2	1694-95	VS	2	1806-04	М	3	1899-M1900	VS	5
1552-53	S	3	1697	М	2	1806-07	М	2	L1901-02	S+	5
1558-E61	S	3	1701	М	3	1812	M+	3	1904-05	S	5
1565	M+	2	1703-04	S	3	1814	S	3	1907	M+	5
1567-68	S+	3	1707-09	М	2	1817	M+	3	1911-12	M+	5
1574	S	2	1713-14	M+	3	1819	M+	3	M1913-M15	S+	5
1578-E79	S	3	1715-16	S+	3	1821	М	3	1918-E20	S+	5
1581-82	M+	3	1718	М	2	1824-25	S	5	1923	М	5
1585	М	2	1720	M+	3	1827-28	S+	5	1925-26	S	5
1589-91	S	3	1723	S	4	1830	М	3	L1929-31	M+	5
1596	М	2	1725	М	2	1832-33	S+	5	1932	M+	5
1600-01	S	3	1728	М	3	1835-36	М	3	1939	М	4
1604	S	3	1731	M+	2	1837-39	S	5	1940-41	VS	5
1607-08	S	3	1734	М	2	1844-E46	VS	5	1943-44	М	5

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1614	S	3	1737	S	3	1850	S	5	1951-E52	M+	5
1618-19	М	3	1744	M+	3	1852-E53	М	4	1953	М	5
1621	S	3	1747-48	S	3	1854-55	S	5	1957-58	S	5
1624	M+	2	1751	M+	2	1857-E59	M+	5	1965-66	S	5
1630-31	S+	3	1754-55	S	2	1860	М	3	M1968-69	M-	3
1635	М	3	1758	М	1	1862	M-	2	1972-73	S+	5
1640-41	S+	3	1761-62	S	3	1864	S+	5	1976-77	М	5
1647	М	2	1765-66	M+	2	L1864-E66	M+	4	1979-80	M-	3
1650	S+	3	1768-69	M+	4	L1867-E69	S+	5	1982-M83	VS	5
1652	М	2	1772-73	М	3	1871	М	3	1986-87	М	5
1653	М	2	1776-E78	M+	3	1873-74	M+	5	M1991-92	S	3
1661	VS	3	1782-84	VS	5	L1876-78	VS	5			

En la tabla anterior no se incluye el fenómeno de 1997 el cuál es catalogado por los científicos como uno de los más grandes del siglo XX.

Luego en la tabla 3.3 se muestran los años con evento ENSO para el periodo 1768-1992. Además los años NIÑO en los cuales se han tenido sequías en el noreste de Brasil, grandes precipitaciones en el Pacífico ecuatorial y Chile subtropical. Mientras que por el lado Oeste del fenómeno se muestran los años con sequías en el este de los monzones en Indonesia, sequías en el este y norte de Australia e insuficientes precipitaciones en el verano monzónico de la India y Iluvias deficientes en el verano monzónico sobre la India.

También es importante mencionar los efectos provocados por Niños catastróficos en las civilizaciones pre-incaicas de la Altiplanicie de Nasca, donde los flujos legamosomigajoso enterraron bajo una capa de sedimentos las ruinas del centro ceremonial nazqueño en Cahuachi y cubre un área extensa en la altiplanicie (Grodzicki, 1994).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla	3.	3. I	Eve	nto	s E	NS	Оу	su su	s e	fect	os	par	a e	l pe	erio	do	176	<u> 58-</u>	199	2.																
Defic India Sum. Mons	1769	1	1	1782-84	1	1790-92	1	1799	1802-04	1806-07	-	1812-13	-	-	1819-20	1	1824-25	1827-28	-	1832-33	ı	1837-38	1844		1850	1853	1855	-	1860	ı	1864	1865-66	1868-69		1873	1876-1877
Australian Drought	0 *	*	*	*	*	1790-91	1796-1797	1798-99	1803-04	-	1810	1	1814	1817	1819	1821	1824	1828	-	1832	1	1837	1845		1850	-	1854	1857	-	1861-63	1864	1866	1868	1871	1874	1877
E. Mons Drought	0 *	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1833	1835	1838	1844-45		1850	1853	1855	1857	*	-	1864	1866	1868	-	1873	1877
Eq. Pac. Ann (+) Pepn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	1864	*	M1868-E69	*	*	*
St Chile Ann (+)	1768		-	1783	1		-	-	ı	-	-	-	-	ı	1819-20	1821	1	1827-28	1829	1833	1	1837	1843	1845	1850-51	-	1855-86	1858	1860	1	*	1	1868		-	1877
BRAZIL DROUGH	1	1772	1777-78	1784	1786	1790-93	-	-	1804	-	1809-10	-	1814	ı	-	ı	1824-25	1827	1830	1833	ļ	1837	1844-45		1850	-	-	-	-	-	ı	ı	1867	1	-	1877-79
Str*	M	M	S	\mathbf{S}	M^+	SA	-	-	+S	+S	M	+M	S	+M	+M	M	M^+	$S\Lambda$	M	M+		+M	M	+S	M	M	ш	M	M	-W	S	\mathbf{M}^{+}	M+	S+	M	$S\Lambda$
El Niño	1768	1772	1776-E78	1782-83	1785-86	1791	-	-	1803-04	1806-07	1810	1812	1814	1817	1819	1821	1824	1828	1830	1832	1	1837	1844-E46		1850	1852	1854	1857-58	1860	1862	1864	E1866	L1867-68	1871	1874	1877-78
Str	+ M+	M	M^{+}	SA	$^{+}$ W	SA	M+	M	S+	M	M	M^{+}	S+	M^{+}	M^{+}	M	S	S+	M	S^+	M	S	SA		S	M	S	M+	M	M-	S^+	\mathbf{M}^{+}	S+	M	M+	NS
ENSO	1769-69	1772-73	1776-E78	1782-84	1785-86	1790-93	1794-97	1799	1802-04	1806-07	1810	1812	1814	1817	1819	1821	1824-25	1827-28	1830	1832-33	1835-36	1837-39	1844-E46		1850	1852-E53	1854-55	1857-E59	1860	1862	1864	L1865-E66	L1867-69	1871	1873-74	L1876-78

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ENSO	Str*	El Niño	Str.	BRAZIL DROUGH	St Chile Ann (+)	Eq. Pac. Ann (+) Pepn	E. Mons Drought	Australian Drought	Defic India Sum. Mons
1880-81	M+	1880	M	-	1880	*	1881	1880	1880
1884-85	$^{+}\mathrm{M}$	1884	+S	-	-	*	1884-85	1884	1885
L1887-E89	S	L1887-E89	+M/-M	1888-89	1887-88	*	1888	1888	1888
1891	М	1891	$S\Lambda$	1891	1891	*	1891		1891
1896-97	+M	1897	+M	1898	-	1896	1896-97	1896	1896
1899-M1900	$S\Lambda$	1899-E1900	S	1900	1899-1900	M1899-1900	1899	1899	1899
L1901-02	+S	1902	+M	1902-03	1902	M1902-E03	1902	1902	1901
1904-05	S	1904-05	-W	1904	1904-05	M1904	1905	1905	1904-1905
1907	+M	1907	+M	1907	-	1	-	1907	1907
1911-12	$^{+}\mathrm{M}$	1911-12	M	-	-	1911-12	1911	1912	1911-1912
M1913-M15	+S	1914-E15	+M	1915	1914	L1913-M15	1913-15	1914	1913-1915
1918-E20	+S	1918-19	M	1919-20	1919	M1918-E20	1918-19	1918	1918-192
1923	М	1923	M	-	1	1923-E24	1923	1923	1923
1925-26	S	1925-26	$S\Lambda$	ı	1926	M1925-M1926	1925-26	1925	1925
L1929-E31	+M	L1930-E31M	M	1930-31	1930	L1929-E31	1929-30	1930	1929-1930
1932	+M	1932	S	1932	-	E1932	1932	1932	1932
1939	M	1939	+M	1939	-	L1939	-	ı	1939
1940-41	$S\Lambda$	L1940-41	S	1941-42	1941	1940-41	1940-41	1940	1941
1943-44	М	1943	+M	-	1944	ı	1944	1943	-
1951-E52	M+	1951	-W	1951-52	-	M1951-1952	1951	1951	1951-1952
1953	M	1953	+M	1953	1953	E1953-L53	1953	1953	-
1957-58	S	1957-58	S	1958-59	-	M1957-M58	1957SBM	1957	1957
1965-66	S	1965	+M	1966	1965	M1965-E66	1965	1965	1965-66
M1968-69	M-	1969	M-	1970	1	E1969	1	1	1968
1972-73	S+	1972-E73	S	1972	1972	M1972-M73	1972	1972	1972
1976-77	M	1976	M	ı	1	M1976	1976	1976	*
1979-80	M-	*	*	1979-80	*	L1979-80	1979	1980	1979
1982-83	SA	L1982-M83	$S\Lambda$	1982	1982	M1982-M83	1982	1982	1982
M1986-87	M	1987	M	ı	1987	M1986-87	1987	1987	1987
M1991-92	S	1992	S	*	1991	M1991-92	1991	1991	1991

^{*}Grado de intensidad (Str) el cual va de Moderado (M), fuerte (S) y muy fuerte (VS) con valores intermedios + o -. Referencia: The large-scale ENSO event, the El Niño and others important regional features. William Quinn 1993.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

3.2.- La Niña.

El fenómeno La Niña es la fase fría del ENOS. Corresponde a los valores positivos del "Índice de Oscilación Sur" (ver recuadro 3) a diferencia de El Niño el cual corresponde al valor negativo del índice. En el fenómeno La Niña los vientos alisios que en condiciones naturales se encuentran en la región intertropical del océano Pacífico, soplando desde las costas americanas hacia el sector asiático, comienzan a ser más intensos, favoreciendo de esta manera el arrastre de aguas superficiales más frías que existen en la región oriental del Pacífico hacia la parte occidental.

En la atmósfera media y alta del Pacífico ecuatorial central, bajo estas condiciones frías, aparece una intensificación de la circulación de las masas de aire que descienden desde la alta atmósfera (15 km de altura) hasta la superficie (Dirección Meteorológica de Chile).

Este fenómeno origina que el anticiclón subtropical del Pacífico Sur Oriental, se intensifique aún más, aumentando su área de acción más al sur de lo normal e impidiendo el normal desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica disminuye la frecuencia de bandas nubosas frontales hacia la zona central y norte del país inhibiendo el normal desarrollo de la nubosidad de los frentes, que son imprescindibles para la generación de la precipitación. La presencia de fenómenos de La Niña, se manifiestan en Chile, en la mayoría de las veces, con temperaturas del aire más bajas que lo normal, con desviaciones que oscilan entre 1 y 2 °C, especialmente en la costa norte. La región central (30°- 40°S), presenta anomalías negativas de menor intensidad, entre 0 a 1 °C.

El alto índice de la Oscilación Sur (fase anti-ENSO) se relaciona en el lado occidental, con lluvia anormalmente fuerte en Australia Oriental y septentrional, lluvia este monzónica de verano anormalmente fuerte en Indonesia, lluvia monzónica de verano sobre lo normal en la India, y un suministro de agua anormalmente grande al sistema del río Nilo como resultado de la lluvia monzónica de verano anormalmente fuerte en las alturas de Etiopia. En contraste en al lado Oriental nos encontramos son condiciones frías anti "La Niña", en la región noreste de la costa sudamericana con sus aguas frías de afloramiento, una zona seca en el pacifico ecuatorial que se extiende

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

lejos hacia el oeste como resultado del agua marina subyacente causada por fuertes vientos del Este y lluvia anormalmente escasa (Quinn, 1993).

En la tabla 3.4 se muestran lo años en los cuales ha ocurrido evento Niño y Niña según la Dirección Meteorológica de Chile.

Recuadro 3.1

Fenómeno La Niña	Fenómeno El Niño
1904	1902
1908	1905
1910	1911
1916	1914
1924	1918
1928	1925
1938	1929
1950	1939
1955	1941
1964	1953
1970	1957
1973	1965
1975	1972
1988	1976
1995	1982
1998	1986
	1992
	1997

Tabla 3.4 Listado de fenómenos El Niño y La Niña de los cuales tiene registro la DMC. Fuente DMC.

Índice de Oscilación del Sur (El Niño Southern Oscillation, ENSO) y la Definición de Anomalías.

Los hechos que relacionan las costas de Chile con las de Australia, Nueva Zelandia e Indonesia, están representados por el índice de oscilación del sur o patrón de correlación (o diferencia barométrica) susceptible de ser observada entre lugares del Pacífico suroriental como isla de Pascua y Darwin en Australia o Jakarta en Indonesia.

El índice de oscilación del sur se calcula restando la presión en el Pacífico occidental de la presión en el Pacífico oriental. El índice es positivo cuando la diferencia entre la Alta presión del Pacífico subtropical (isla de Pascua) y la Baja Presión de Indonesia es intensa, hay mayor diferencia de presión y se denomina Período estable. En este caso, los vientos alisios y la corriente ecuatorial del sur son intensos, hay un aumento del nivel del mar en el borde occidental del Pacífico mientras que en el borde oriental el nivel del mar es más bajo y se presentan aguas frías por surgencias.

En la situación anterior, en que se comprueba una diferencia normal de las presiones, el gradiente barométrico impulsa hacia el norte y el occidente los vientos, empujando las aguas frías hacia las latitudes más bajas y favoreciendo las surgencias. Una diferencia de presiones más alta y positiva, implica la acentuación de las condiciones anticiclonales, su extensión hacia el sur, y como resultado, el bloqueo al acceso de las perturbaciones provocando como consecuencia, sequías en la región mediterránea. Dicha intensificación causa un

incremento en la frecuencia y velocidad de los vientos sur y un mayor flujo de aguas hacia el norte, generalizándose frente al país las aguas frías subantárticas. Este fenómeno corresponde a un anti-Niño (La Niña).

En la situación contraria, cuando se debilita la diferencia de presión, el índice de oscilación es negativo. En este caso hay una inversión generalizada de los patrones barométricos lo que provoca el fenómeno El Niño, manifestado en Chile como descensos de largo plazo de la presión atmosférica superficial y anomalías débiles positivas de las temperaturas superficiales del mar y del aire, incremento de las neblinas costeras en el norte semiárido y árido del país, y mayores precipitaciones en Chile central. Esta situación se reconoce como Período inestable en que los vientos alisios se debilitan.

Referencia: Curso de Geografía del Mar PUC.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

3.3.- Las Precipitaciones.

En el punto 1.2.3 ya se realizó un análisis global de las precipitaciones en la cuenca, en este punto veremos la influencia que tienen el fenómeno ENOS en las precipitaciones.

En la figura 3.1 se muestra el registro histórico de precipitaciones de la ciudad de La Serena, el cual data desde 1869. A estas precipitaciones se le han marcado los años en los cuales el fenómeno de El Niño a alcanzado nuestro país, la identificación de estos años se ha realizado en base a la tabla 3.3 la cual comprende el periodo de 1769-1992. Esta información se ha completado con la información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile señalando los años definidos como comienzos de un evento Niño, donde los registro existen desde 1902 en adelante.

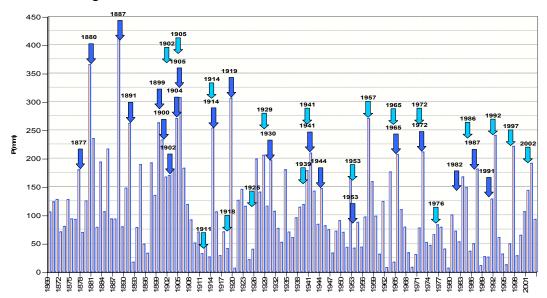


Figura 3.1 Precipitación en La Serena y eventos Niño. El periodo de precipitaciones comprende desde 1969 hasta 2003, las flechas azules indican los años en los cuales se tiene registro de eventos Niño en Chile según la tabla 3.3, mientras que las flechas blancas se señalan los años con eventos Niño en Chile según la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Se ha hablado mucho del descenso que están sufriendo las precipitaciones de La Serena, pero hasta el momento no se ha hecho ninguna referencia la influencia del fenómeno El Niño sobre las precipitaciones, si se analiza detenidamente la figura 3.3, vemos que todas las grandes precipitaciones anuales de fines del siglo XIX y comienzos del XX están asociadas a un fenómeno Niño, por lo que se podría pensar

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

que si han disminuido las precipitaciones también es posible que haya disminuido la intensidad del efecto Niño en nuestra costa y Región (ver años Niño a principios del siglo XIX en comparación a los registrados a principios del siglo XX). También hay que mencionar que el estudio de la variabilidad climática ha conducido al descubrimiento de otras perturbaciones del sistema climático global. Las más recientes se han denominado Onda Circumpolar Antártica, Oscilación del Atlántico Norte y Dipolo del Océano Indico. Estas perturbaciones son cambios del estado medio del clima que ocurren cada 3-7 años o después de varias décadas. La corriente circumpolar antártica pude ejercer un efecto estabilizador de la atmósfera (generando una zona de altas presiones) en latitudes mayores a las nuestras, la cual ejerce un efecto de empuje sobre los frentes de mal tiempo a latitudes menores; un ejemplo de estos fueron los temporales de 1984 que afectaron a la región y la zona central de nuestro país (Héctor Concha³ conversación personal). De este tipo de fenómenos no se conocía nada al respecto a comienzos del siglo XX, los cuales claramente pueden haber afectado las precipitaciones en el pasado.

Como se aprecia en la figura 3.1 el fenómeno de El Niño influye de manera considerable en las precipitaciones, las cuales fácilmente pueden superar los 200mm en un año Niño a diferencia de la Niña, que en estos años existe una escasez enorme de precipitaciones (ver figura 3.2).

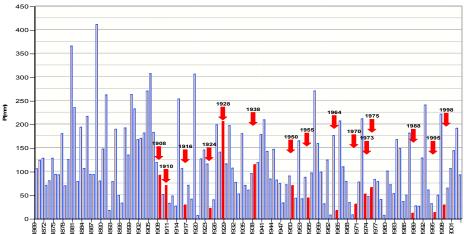


Figura 3.2 Precipitaciones en La Serena desde 1869 y eventos Niña (barra de color rojo) identificados por la Dirección Meteorológica de Chile.

"Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

³ Meteorólogo CMEI

Los años con el fenómeno de La Niña muestran una escasa precipitación comparado con un año Niño (figura 3.3), también existen más años con escasa precipitación, donde toman importancia los factores climáticos locales como lo es el anticiclón del Pacífico y la corriente de Humboldt.

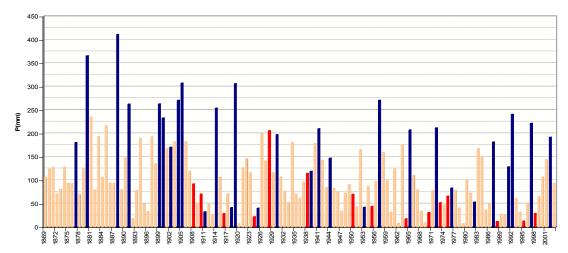


Figura 3.3 Precipitaciones en La Serena (1869-2003), años Niño (barra de color azul) y años Niña (barra de color rojo). Referencia: Tabla 3.3 y DMC.

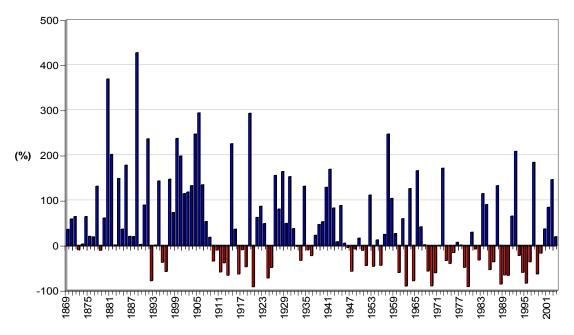


Figura 3.4 Anomalías de las precipitaciones en porcentaje para el sector de La Serena para el periodo 1869-2003, en base al promedio calculado para el periodo 1961-1990.

En la figura 3.4 se puede ver que en el transcurso del siglo XX se han alternado tanto

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

las anomalías negativas como las positivas, si embargo en la segunda mitad del siglo se intensifican los años con anomalías negativas, una situación muy distinta a la que se presentó a final del siglo XIX, donde las alternaciones eran menos frecuentes y de una magnitud menor.

Analizando las anomalías de las precipitaciones (figura 3.5) para las estaciones de La Serena, Vicuña y Rivadavia durante el periodo desde 1959 hasta 2003, vemos que predominan las anomalías negativas en la precipitación, lo cual es un indicador de que en la segunda parte del siglo XX las precipitaciones disminuyeron.

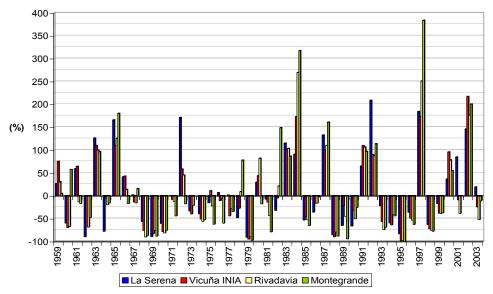


Figura 3.5 Anomalías de las precipitaciones en % para el periodo de 1959-2003 en base al promedio calculado para el periodo 1961-1990.

Las anomalías para el periodo 1979-2003 en los sectores de La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna poseen en su mayoría valores negativos donde destacan periodos de tres y cuatro años con precipitaciones inferiores a la media y las anomalías superando los 50 mm de agua (figura 3.6).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

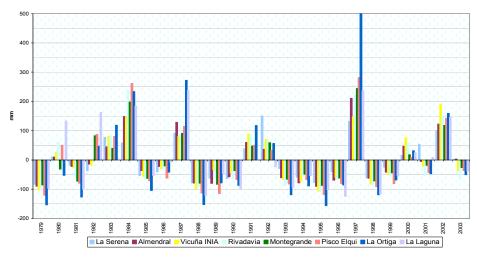


Figura 3.6 Anomalías de las precipitaciones en los sectores de La Serena, Vicuña, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui, La Ortiga y La Laguna.

3.4.- Caudales en la Cuenca de Elqui.

Los datos históricos de caudales en la cuenca datan desde 1914 en adelante. Las primeras estaciones que tienen registro desde esta fecha son las de Turbio en Varillar y Claro en Rivadavia. Los registros de esta última estación existen de manera casi completa, solamente no existen datos en los años 1942, 1943, 1944, y 1945. Siguen en antigüedad los registros pertenecientes a las estaciones de Elqui en Algarrobal, Elqui en Almendral y La Laguna los cuales datan desde los años 1916, 1918 y 1928 respectivamente (figura 3.8) El problema de estas últimas estaciones es que poseen grandes vacíos de información, donde recién pasados los años 50 se puede contar con la continuidad de los datos en el tiempo. En la figura 3.7 se muestra su ubicación en la cuenca del río Elqui.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

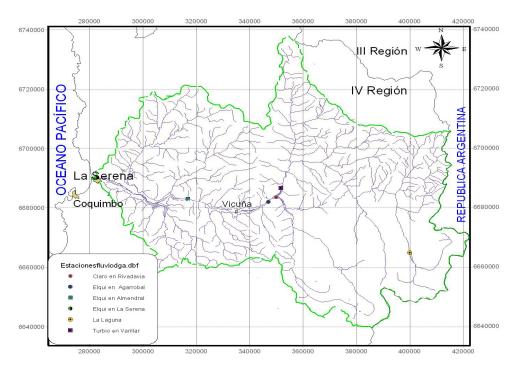


Figura 3.7 ubicación de las estaciones fluviométricas de Elqui en La Serena, Elqui en Almendral, Elqui en Algarrobal, Claro en Rivadavia, Turbio en Varillar y La Laguna.

Los caudales de la misma forma que las precipitaciones poseen una gran variabilidad anual influenciados obviamente por los fenómenos El Niño y La Niña.

Como se mencionó en el punto anterior a fines del siglo XIX y comienzos del XX el Fenómeno El Niño habría presentado de una forma tal, que pudiese haber tenido un efecto mayor sobre las precipitaciones de la cuenca, presentado una gran intensidad en cuanto a precipitaciones, las cuales influirían en forma directa e indirecta en los caudales. Se dice en forma indirecta ya que las precipitaciones al caer en forma sólida no serían un aporte instantáneo al caudal del año (acumulaciones de nieve en la alta cordillera); esto explicaría en parte los altos valores de los caudales a principio del siglo pasado (figura 3.8). Posterior a esto existe una disminución de los caudales, (tomando como referencia el caudal de Turbio en Varillar, ya que es el único que posee un registro completo) donde se atraviesa por varios periodos de sequías en la cuenca. A contar del año 1977 se puede observar un leve aumento de los caudales volviéndose la curva más irregular.

Para analizar este aumento de los caudales se han graficado medias móviles de 20 años para las estaciones de Turbio en Varillar, Claro en Rivadavia, Elqui en Algarrobal y Elqui en Almendral (figura 3.9)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

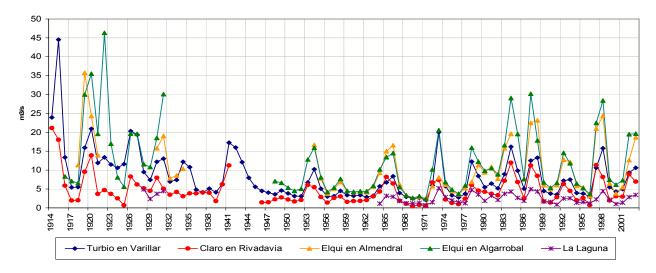


Figura 3.8 Caudales medios anuales periodo 1914-2003.

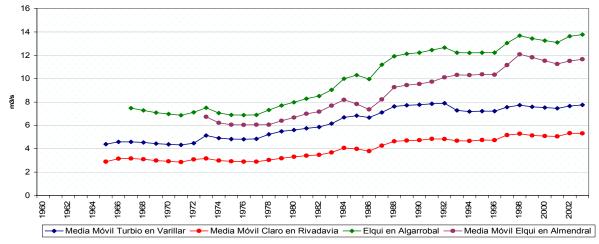


Figura 3.9 Promedios móviles de 20 años en las estaciones de: Turbio en Varillar, Claro en Rivadavia, Elqui en Algarrobal y Elqui en Almendral.

La figura 3.9 muestra claramente la tendencia existente al aumento de los caudales en las cuatro estaciones mencionadas.

3.4.1.- Anomalías de los Caudales Medios Anuales.

En las siguientes figuras se muestran las anomalías calculadas en % para las estaciones de Elqui en Almendral, Elqui en Algarrobal, Claro en Rivadavia y Turbio en Varillar. Se muestran las anomalías para el periodo de tiempo que abarca desde 1954 hasta 2003, donde la media ha sido calcula en base al periodo de 1961 a1990.

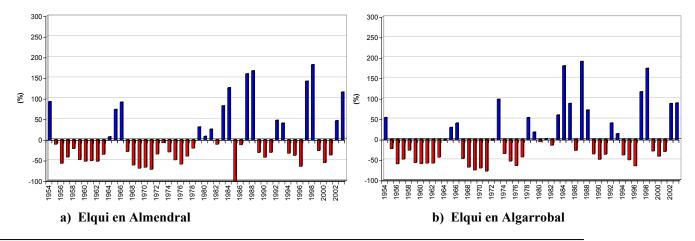
En general el comportamiento de las anomalías a lo largo del valle de Elqui se

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

caracteriza por largos periodos donde las anomalías de los caudales son negativas y aumentan su magnitud a medida que pasan los años, debido principalmente a un déficit de precipitaciones en la alta montaña, recordando que la cuenca es netamente de comportamiento nival. Por otro lado las anomalías positivas se presentan juntas y en un periodo de tiempo más corto que las negativas.

En la figura 3.10 queda de manifiesto que la cuenca del río Elqui ha sufrido grandes periodos de déficit hídrico, los cuales fácilmente han abarcado periodos de cinco o más años, los cuales han causados grandes estragos naturales y sociales (ver tabla 4.1). También se puede apreciar que en los últimos veinticinco años los periodos de anomalías negativas se hacen más cortos en comparación con los de las décadas de 1950 o 1960, además que las anomalías positivas han aumentado su magnitud en forma considerable. Hay que hacer mención que estos periodos positivos se presentan generalmente durante dos o tres años consecutivos y han aumentado su magnitud en los años donde se ha presentado el fenómeno el Niño en nuestras costas.

Quizás una de las causantes de la tendencia del aumento de los caudales que se ha registrado durante el último tiempo, sean las altas precipitaciones que se registraron principalmente en la alta montaña durante 1983, 1984, 1986, 1987, 1992, 1997 y 2002 (ver figura 3.13), donde probablemente el aporte al caudal se realizaba durante el año que precipitaba y los siguientes, de allí que se aprecie dos o más años con anomalías positivas. También hay que considerar el aporte que puedan realizar la fusión del glacial el Tapado y la fusión de permafrost en la alta montaña de los cuales no se tiene conocimiento alguno.



[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

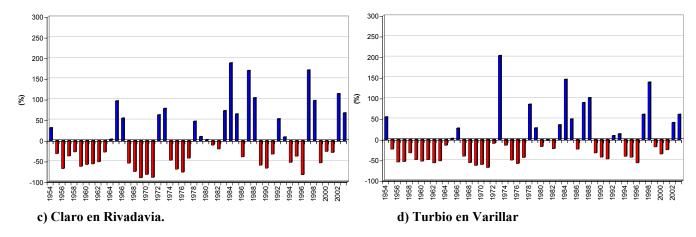


Figura 3.10 Anomalías de los caudales registradas para el periodo de 1954-2003 en base al promedio calculado para el periodo 1961-1990.

De la misma forma que se aprecia un aumento de los caudales se puede apreciar un aumento de los caudales en los canales de riego, especialmente a lo largo del río Elqui, donde se concentra mayoritariamente la actividad agrícola (aguas abajo del embalse Puclaro). En la figura 3.11 se muestran los caudales históricos de los canales de riego y en la figura 3.12 la media móvil de 20 años de estos caudales, para los distintos sectores del Valle de Elqui. La media móvil se ha calculado con la finalidad de apreciar la existencia de alguna tendencia, ya sea a la disminución o al aumento en los caudales extraídos para riego.

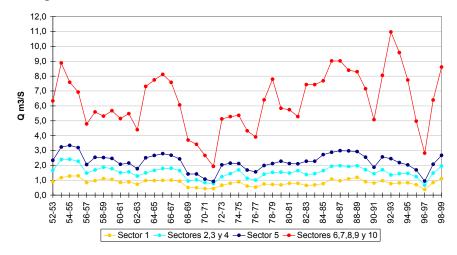


Figura 3.11 Se muestran los caudales medios anuales en la bocatoma de los canales de regadío para los distintos sectores del Valle de Elqui, el sector 1 corresponde a los canales que se encuentran a lo largo del río Turbio, los sectores 2, 3 y 4 correspondes a los canales que se encuentran a lo largo de los ríos Cochiguaz y Claro respectivamente, el sector 5 a la sección del río Elqui que está comprendida desde Rivadavia hasta el embalse Puclaro y los sectores 6, 7, 8, 9 y 10 corresponden a las bocatomas de los canales que se encuentran aguas abajo del embalse Puclaro.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

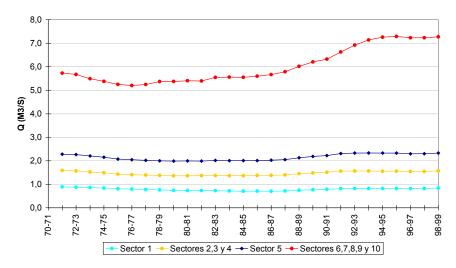


Figura 3.12 Medias Móviles de 20 años, donde se aprecia el mayor aumento que han tenido los caudales aguas abajo del embalse Puclaro.

A continuación la figura 3.13 muestra la nieve acumulada durante los años del periodo 1981 a 2003 en la CMEI. Claramente se aprecia la diferencia de nieve acumulada en los años Niños en comparación con los años restantes. Es muy probable que el aporte realizado por la gran cantidad de nieve caída en la alta montaña haya sido determinante en el aumento de los caudales que se ha visto en la figura 3.8.

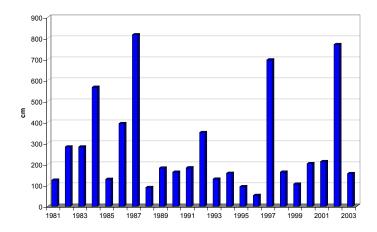


Figura 3.13 Nieve Acumulada en cm para los años que comprenden el periodo de 1981-2003 CMEI.

Luego de haber analizado los caudales medios anuales, se pueden apreciar largos periodos de años en los cuales se presentan anomalías negativas. Claramente el régimen hídrico esta dominado por las precipitaciones en la cordillera (deshielos), pues

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

en los años que se tienen grandes precipitaciones, vemos anomalías positivas en los caudales durante los siguientes dos o tres años.

3.5.- Temperaturas.

En este punto se pretende dar una visión general del comportamiento de las temperaturas, máximas, mínimas y medias mensuales y anuales. También se analizarán las anomalías que han presentado las temperaturas anuales. Para esto se consideran las estaciones de La Serena, Vicuña, La Ortiga, La Laguna y El Indio, pues estas estaciones son las que tienen más larga data en cuanto a esta variable.

3.5.1.- Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas Mensuales.

En la figura 3.14 se gráfica el comportamiento promedio de las temperaturas a lo largo del año. Se observa que en el sector medio del valle las temperaturas medias máximas fluctúan entre los veinte y los treinta y cinco grados durante todo el año, mientras que la temperaturas medias mínimas no descienden de los cero grados (Vicuña y Rivadavia), muy distinto a lo que sucede sobre los 3.000 m.s.n.m. donde las temperaturas máximas (medias) no superan los veinticinco grados durante el verano y durante el invierno no alcanzan a superar los 15 grados y las temperatura mínimas pueden alcanzar los -15 grados durante el invierno. Luego en la zona intermedia a las dos anteriores, la cual es representada por La Ortiga (1.560 m.s.n.m), las temperaturas máximas no descienden bajo los veinticinco grados durante el invierno y alcanzan los treinta grados en el verano y las temperaturas mínimas giran entorno a los cero grados. En La Serena, las temperaturas máximas no superan los veinticinco grados y la mínima no desciende de los de los tres grados, presentándose una temperatura media que fluctúa entre los diecisiete y los diez grados Celsius.

También hay que destacar que la temperatura media durante todo el año no desciende de los diez grados en la zona intermedia del Valle.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

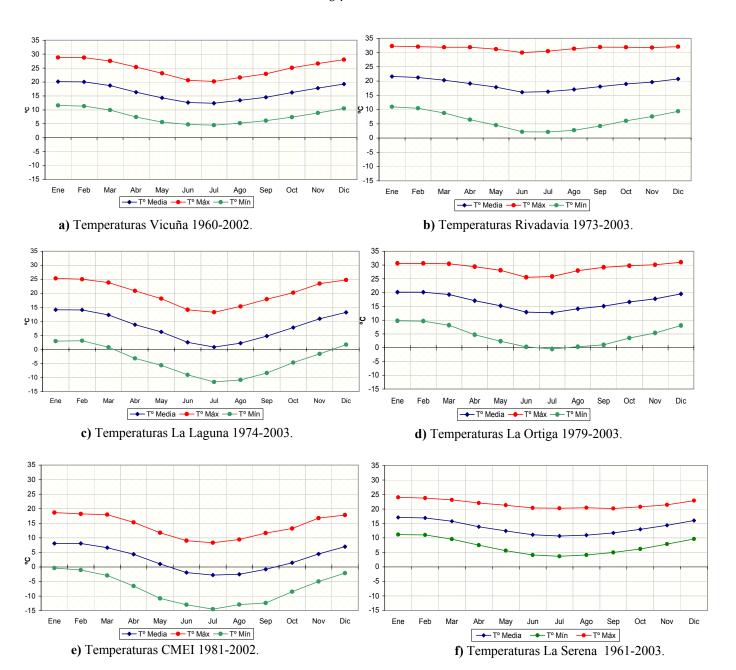


Figura 3.14 Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales.

3.5.2.- Anomalías de las Temperaturas Medias, Máximas y Mínimas Anuales.

3.5.2.1.- Anomalías de las Temperaturas Medias.

Las anomalías de las temperaturas medias se han calculado a partir de las temperaturas medias anuales, para los periodos que se señalan en la respectiva figura.

Se entiende por anomalía positiva, una temperatura mayor que la temperatura media calculada para el periodo determinado. De esta forma una anomalía negativa es una

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

temperatura menor a la temperatura media, siendo la anomalía la diferencia entre la temperatura del año y la temperatura media del periodo. Los gráficos siguientes representan las anomalías en la temperatura media anual para los periodos señalados en la figura. Esta anomalía fue calculada en base a la temperatura promedio para el periodo de tiempo de 1981-2002.

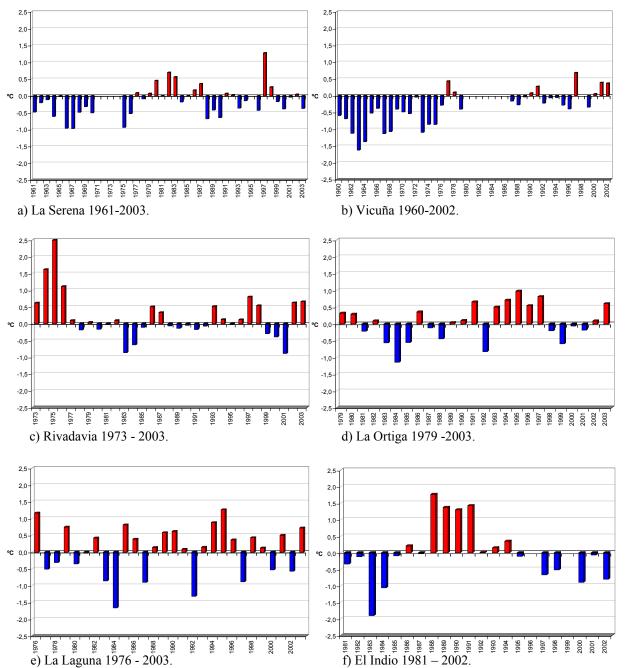


Figura 3.15 Anomalías de la temperatura media anual para las estaciones de La Serena (aeropuerto), Vicuña (INIA), Rivadavia, La Ortiga, La Laguna y El Indio.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Lo más notorio de estas anomalías es el comportamiento observado en las estaciones de La Serena y Vicuña, donde ambas presentan un largo periodo (1961-1976) con anomalías negativas. Luego de este periodo, se observan periodos más cortos, donde el predominio de las temperaturas se alterna en valores positivos (1977-1987) y negativos (1988-2003) en el caso de La Serena.

Entre Rivadavia y Vicuña, sectores que se encuentran a una distancia de unos 20 kilómetros. Se observa que las alternaciones de las anomalías son más frecuentes en Rivadavia que en Vicuña.

También se puede observar que las temperaturas medias en las estaciones de La Laguna (3.200 m.s.n.m. aprox.) y El Indio (3.870 m.s.n.m. aprox.) se comportan de forma distinta. Donde en la primera parte de la década de lo años ochenta (1981-1985) en El Indio predominaban las anomalías negativas, no así en La Laguna donde estas anomalías no superaban los dos años siendo negativas o positivas (figura 3.15 e). Luego desde 1988 hasta 1996 presentan un comportamiento similar predominando las anomalías positivas en ambos sectores, en el último periodo desde 1997 hasta 2002, en El Indio predominan claramente las anomalías negativas, no así en La Laguna donde las anomalías se alternan entre positivas y negativas, predominando las primeras. Analizando globalmente las figuras 3.15 e y f, en el Indio han predominado las anomalías negativas no así en La Laguna donde el predominio es positivo.

3.5.2.2.- Anomalías de las Temperaturas Mínimas.

Estas anomalías han sido calculadas a partir de las temperaturas mínimas anuales para los periodos señalados en su respectiva figura 3.16. De la misma forma que las anomalías de las temperaturas medias, estas anomalías fueron calculadas en base al promedio de la temperatura mínima anual del periodo 1981-2002.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

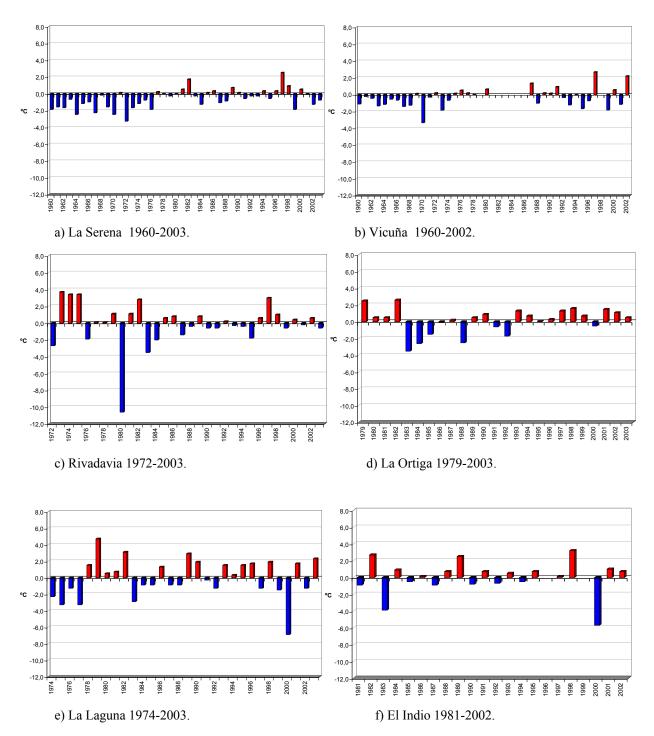


Figura 3.16 Anomalías de la temperatura mínima anual para las estaciones de La Serena (DMC), Vicuña (INIA), Rivadavia, La Ortiga y El Indio.

Al comparar las anomalías (periodo 1981-2002) existente entre los sectores de El Indio y La Laguna, tenemos que en ambas, han predominado las anomalías positivas, es decir, las temperaturas mínimas son mayoritariamente superior a la media mínima

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

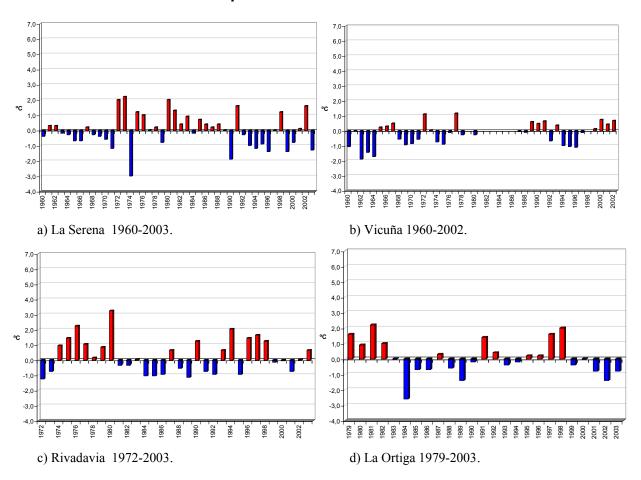
durante este periodo, hay que mencionar que estas anomalías no necesariamente coinciden el mismo año, lo que demuestra las distintas condiciones climáticas existentes en los sectores.

En el sector de La Ortiga sucede algo muy similar a lo anterior donde el predominio es mayoritariamente positivo.

Luego en los sectores de Rivadavia y Vicuña las anomalías se alternan entre positivas y negativas, eso si, variando la magnitud, anomalías más leves en Rivadavia y un poco superior en magnitud en Vicuña para el periodo 1981-2002. Lo mismo sucede para La Serena.

Al igual que las temperaturas medias, se observan largos periodos de anomalías negativas, tanto para La Serena como Vicuña durante los periodos de 1960-1976 para La Serena y 1960-1974 para Vicuña.

3.5.2.- Anomalías de las Temperaturas Máximas.



[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

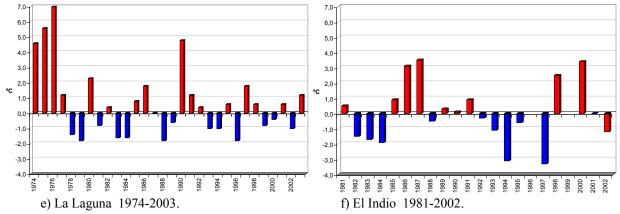


Figura 3.17 Anomalías de las temperaturas máximas para las estaciones de La Serena (DMC), Vicuña (INIA), Rivadavia, La Ortiga, La Laguna y El Indio.

En el caso de estas anomalías, las diferencias existentes en los sectores de El Indio y La Laguna son notorias, donde en el primero predominan ampliamente las anomalías positivas a diferencia del segundo sector donde el predominio no es tan amplio pero es superior el de las anomalías negativas.

En el sector de La Ortiga, el predominio es mayoritariamente negativo, no es de gran magnitud pero forma ciclos de tres a cuatro años donde predomina.

Ahora en esta ocasión las anomalías de las temperaturas máximas nos muestra claramente las diferencias de temperaturas que pueden existir en los sectores de Vicuña y Rivadavia, como ilustran las figuras 3.17 b y c.

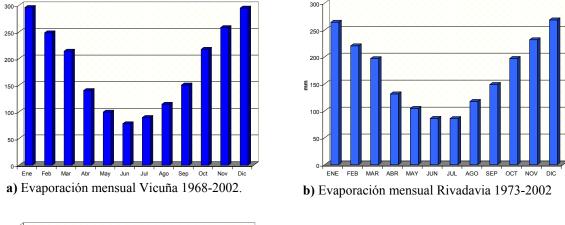
3.6.- Evaporación Potencial.

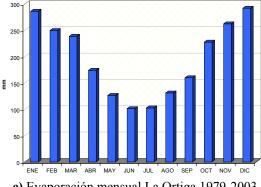
3.6.1.- Evaporación Potencial Mensual.

Los registros de evaporación existentes corresponden a las estaciones de La Serena, Vicuña INIA, La Ortiga y La Laguna.

La evaporación mínima se observa en la estación de Vicuña la cual alcanza los 77 mm en el mes de junio, mientras que en Rivadavia y La Ortiga las mínimas son 85 y 102 mm aprox. en los meses de julio y junio respectivamente. Las evaporaciones más altas se presentan en diciembre y enero; en este último mes se obtiene el máximo del año en Rivadavia y la Ortiga con 268 y 292 mm respectivamente. En Vicuña el máximo se obtiene en enero con 296 mm y en diciembre la evaporación alcanza los 295 mm (figuras 3.18 a,b,c).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.





c) Evaporación mensual La Ortiga 1979-2003

Figura 3.18 Evaporación potencial media mensual para las estaciones de Vicuña, Rivadavia y La Ortiga. Los periodos de tiempo respectivos se indican en la figura.

3.6.2.- Evaporación Potencial Anual.

La evaporación anual oscila en Vicuña oscila entre los 1900 y los 2500 mm al año aproximadamente (figura 3.19a), habiendo una excepción en el año 1980 donde la evaporación potencial anual medida alcanzó los 1590 mm. Mientras que en las estaciones de Rivadavia y la Ortiga oscila de los 1590 a los 2500 mm en la primera y de los 1925 a los 2750 mm aproximadamente en La Ortiga (figuras 3.19 b,c).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

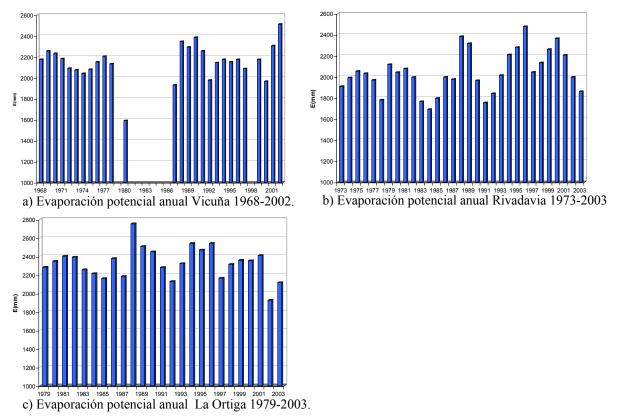
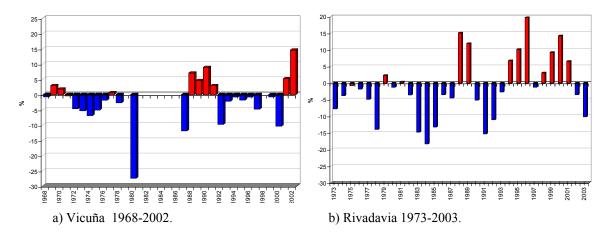


Figura 3.19 Evaporación Potencial anual, estaciones de Vicuña, Rivadavia y La Ortiga.

3.6.3.- Anomalías de la Evaporación Potencial.

De la misma forma que se han calculado las anomalías de las temperaturas, se han calculado las anomalías de la evaporación potencia que se muestran en la figura 3.20.



[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

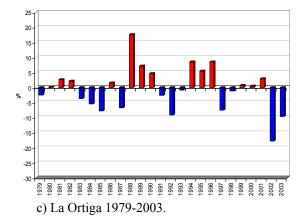


Figura 3.20 Anomalías de la Evaporación Potencial en las estaciones de Vicuña, Rivadavia, La Ortiga. Las anomalías fueron calculadas en base al promedio del periodo de 1981-2002, exceptuando para la estación de Vicuña, en la cual no existen datos para el periodo de 1981-1986, por lo que el promedio de referencia fue calculado para el periodo 1987-2002.

En la figura 3.20 se puede observar como las anomalías se presentan tanto en forma positiva como negativa, donde claramente se definen periodos de anomalías positivas y periodos negativos. Cabe destacar que en los últimos diez años el predominio de las anomalías positivas es mayor.

3.7.- Índice de Aridez de Martonne.

En base a los datos disponibles en las estaciones meteorológicas solo es posible, trabajar para alguna de esas estaciones con el índice de aridez de Martonne, pues este requiere únicamente la información sobre la precipitación mensual y anual y la temperatura media anual y la media mensual, para un determinado sitio. El índice anual de Martonne está definido por la fórmula siguiente:

(Ecuación 3.1)

$$IM = \frac{P(mm)}{(T^{\circ}C) + 10)}$$

Donde:

P: Precipitación media anual

T: Temperatura media anual en grados Celsius.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La tabla de clasificación se muestra a continuación:

Tabla 3.5. Clasificación de Martonne.

IM	Clasificación
0-5	Desierto (árido extremo)
5-15	Semidesierto (árido estepario)
15-20	Semiárido
20-30	Sub-húmedo
30-60	Húmedo.
>60	Muy húmedo

Fuente: www.globalbioclimatics.org

Mientras que el índice de aridez mensual de Martonne se expresa como:

Ecuación 3.2

$$IM = \frac{P(mm)}{(T^{\circ}C) + 10)} * 12$$

Donde:

P: Precipitación media mensual.

T: Temperatura media mensual en grados Celsius.

Y su clasificación se muestra en la tabla 3.6

Tabla 3.6 Clasificación de Martonne mensual.

Índice Martonne	Clasificación
IM<10	Mes Seco o Árido.
10 <im<20< td=""><td>Semiseco o Semiárido</td></im<20<>	Semiseco o Semiárido
IM>20	Mes Húmedo

Fuente: Bioclimatología de Chile.

Estos índices ya fueron calculados para las estaciones de La Serena y Vicuña por di Castri et al, 1976.

Los cálculos de los índices se realizaron para las estaciones Vicuña, Rivadavia, La Ortiga y La Laguna. Los resultados para el índice de aridez mensual de Martonne se presentan en la tabla 3.4 que se, muestra a continuación.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 3.7 Muestra los valores de los índices calculados en forma mensual para el periodo de tiempo que se señala junto al nombre de la estación.

Índice de Martonne	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Serena (1975-2003)	0,06	0,04	0,51	0,89	6,78	11,24	18,32	6,97	2,40	1,89	0,24	0,02
Vicuña (1971-2002)	0,04	0,01	0,68	1,90	5,23	13,37	17,90	9,07	2,75	0,84	0,19	0,02
Rivadavia (1973-2003)	0,00	0,17	0,64	1,63	4,37	11,42	18,68	7,37	1,81	0,58	0,14	0,04
La Ortiga (1979-2003)	0,00	0,20	1,00	1,76	7,44	22,97	32,78	13,43	2,50	0,73	0,00	0,04
La Laguna (1974-2003)	1,79	1,66	2,65	6,07	17,68	29,13	69,99	30,04	5,92	4,17	0,44	1,35

Los resultados nos dicen que según la clasificación de Martonne mensual, los sectores de la estación de Vicuña y Rivadavia pasan diez meses del año en condiciones áridas o secas, solamente los meses de junio y julio se escapan de esta aridez a condiciones semiáridas, julio no alcanza a ser un mes húmedo. En el sector de la estación de La Ortiga sucede algo muy similar, teniendo nueve meses en condiciones áridas, junio y julio en condiciones húmedas y agosto en condiciones semiáridas. Mientras que en el sector de La Laguna disminuyen a 8 los meses áridos, mayo siendo un mes semiárido y junio, julio y agosto meses húmedos.

Ahora en la tabla 3.8 veremos los resultados obtenidos del Índice de Martonne anual.

Tabla 3.8 Índice de aridez anual de Martonne.

Estaciones	Tº media anual	P media anual	Índice Anual de Martonne
La Serena (1975-2003)	13.8	87.3	3.52
Vicuña (1971-2002)	16,49	102,52	3,87
Rivadavia (1973-2003)	18,92	104,62	3,62
La Ortiga (1979-2003)	16,72	161,7	6,05
La Laguna (1974-2003)	8,13	182,1	10,04

Según la clasificación de Martonne tabla 3.2 los sectores donde se encuentran las estaciones de La Serena, Vicuña, Rivadavia y la Ortiga corresponden a una zona árida, todos los valores del índice son menores que 10, mientras que el sector de La Laguna se encuentra prácticamente en el límite de árido y semiárido.

Como se mencionó anteriormente di Castri (1976), había realizado unos cálculos de índice de Martonne en 1976, se calcularon los índices mensuales y anuales. Los

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

resultados de esos cálculos se detallan a continuación en las tablas 3.9 y 3.10 respectivamente.

Tabla 3.9 Índice de Martonne mensual. En la tabla se muestran las coordenadas de las estaciones respectivas, mientras que los valores del índice están representado por letras, donde A significa mes árido, con índice de Martonne <10; SA es un mes semiárido con índice de Martonne entre 10 y 20 y H es el equivalente a un mes húmedo. Calculado por di Castri et al., 1976.

Estación	Coord	enadas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Serena	29°54'S	71°15'W	A	A	A	A	SA	SA	SA	SA	A	A	A	A
Vicuña	30°02'S	70°44'W	A	A	A	A	SA	Н	SA	SA	A	A	A	A

Tabla 3.10 Índice anual de Martonne. Di Castri et al., 1976.

Estación	Coord	lenadas	Índice de Martonne anual
La Serena	29°54'S	71°15′W	5.13
Vicuña	30°02'S	70°44'W	6.16

Los resultados obtenidos por di Castri para Vicuña son bien similares a los presentados en la tabla 3.4: En gran parte del año existen condiciones áridas seguidas de las condiciones semiáridas. La gran diferencia existente entre los resultados obtenidos por di Castri y el presente trabajo, es que el mes de junio se presenta como un mes húmedo y los mese semiáridos abarcan mayo y agosto, recordando que en la tabla 3.4 el periodo semiárido se remite a junio y julio.

Luego en la comparación de los índices anuales, di Castri obtuvo una clasificación semiárida con un valor del índice de 6.16 para Vicuña, mientras que ahora se obtuvo 3.87, valor notablemente menor y que lo cataloga como un sector árido. Es muy probable que aunque no se pudieron obtener los valores calculados de los índices mensuales por di Castri estos hayan sido mucho mayores que los calculados en este informe.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO IV

"Principales Eventos Catastróficos en la Historia de la Región"

En este capítulo se hará un recuento de los principales eventos catastróficos producidos en la Región, restringiéndonos mayoritariamente a los eventos relacionados con factores climáticos. Específicamente nos referiremos a eventos de sequía (falta de precipitaciones), temporales, eventos de inundaciones y eventos de remoción en masa.

No se hará referencia a los eventos catastróficos consecuencia de actividad sísmica.

4.1.- Tipos de eventos catastróficos en la región.

4.1.1.- Inundaciones.

Las inundaciones son producto de un régimen anormal de precipitaciones, que excede la capacidad normal del río para transportar agua y sedimentos. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

Se define la llanura de inundación como "una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas" (Leopold et al., 1964).

Las precipitaciones por lo general ocurren más allá del área afectada y pueden involucrar fenómenos como derretimiento brusco de la nieve en altura (caída de lluvia sobre nieve), lo cual está asociado a masas de aire cálido, que elevan en altura la isoterma cero grados provocando la caída de precipitación líquida donde habitualmente la precipitación es sólida.

Las inundaciones se pueden calificar en tres tipos, conforme a su origen:

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- a) Inundaciones Cíclicas o Estaciónales: Estas se encuentran relacionadas con la estación del año donde ocurren grandes precipitaciones o son el resultado de deshielos. En este tipo de inundaciones existe el concepto llamado período de retorno, el cual permite establecer la probabilidad que una determinada magnitud de la crecida se alcanzada en una año, o mejor dicho cada cuantos años se produce una crecida de una magnitud X.
- b) Inundaciones infrecuentes e impredecibles: Estas se deben a fenómenos singulares como una lluvia intensa y prolongada, o un patrón persistente de tormentas.
- c) Inundaciones causadas o intensificadas por la actividad humana: Dentro de las actividades desarrolladas por el hombre, se encuentra la urbanización la cual impide la infiltración del agua. También tenemos la destrucción de bosques y vegetación, los cuales sostienen el suelo y la capacidad de infiltración. Además hay que mencionar las obras de ingeniería las cuales estrechan los causes del río para ganar terreno.

4.1.2.- Remoción en Masa.

Con este nombre se designa a una amplia gama de fenómenos geológicos que implican deslizamiento de rocas, sedimentos y suelos, sin que intervenga un agente erosivo, por el solo efecto de la gravedad (curso de Ingeniería Ambiental).

Estos fenómenos de remoción en masa pueden o no ocurrir a través de un plano de deslizamiento, el cual puede ser recto o curvo. Estos fenómenos son de velocidades variables que van desde muy rápidos a fenómenos muy lentos. Los dos extremos de velocidades están dados por los procesos de reptación de suelos y materiales no consolidados, que avanzan algunos cm por año y por rodados de rocas los cuales pueden alcanzar los 300 km/hr.

Entre la reptación de suelos y las caídas o avalanchas de rocas o derrubios, hay una amplia gama de fenómenos los cuales se conocen como deslizamientos y

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

hundimientos. Los primeros ocurren a lo largo de planos de discontinuidad (ej. los existentes entre roca meteorizada y suelo o simplemente los planos de fractura de una macizo rocoso), mientras que lo hundimientos se generan en materiales homogéneos físicamente, como masas de rocas alteradas o materiales sedimentarios y ocurren a lo largo de planos generalmente curvos produciéndose una rotación en el hundimiento (hundimiento rotacional) (curso de Ingeniería Ambiental).

El agua desempeña un rol principal en ambos tipos de fenómenos, contribuyendo a aumentar el peso de la masa inestable, saturando los espacios interconectados, luego modifica la conducta reológica. En el caso de rocas alteradas, suelos o sedimentos, facilitando su flujo y también actúa disminuyendo el roce en los planos de fractura. Además del rol del agua tenemos un importante factor el cual es la perdida de soporte lateral en la parte basal del conjunto de materiales en pendiente. Esta pérdida se puede producir en forma natural (erosión fluvial) o por acción humana (construcción de caminos).

4.1.3.- Sequías.

Las sequías, de todos los desastres naturales, son las que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas. Las sequías pueden afectar grandes extensiones geográficas, llegando a cubrir países enteros o grandes regiones de continentes y pueden durar varios años. Lo cual tiene un impacto directo y significativo sobre la producción alimenticia y la economía en general.

La sequía es una condición de déficit del recurso agua, suficiente para tener efectos adversos sobre la vegetación, los animales o el hombre y su actividad en una región determinada (Donoso et al, 1999).

Entenderemos por sequía una condición del medio ambiente en la que se registra deficiencia de humedad, debido a que durante un lapso más o menos prolongado, la precipitación pluvial es escasa. En condiciones de sequía el ciclo hidrológico se desestabiliza al extremo de que el agua disponible llega a resultar insuficiente para satisfacer la demanda de los ecosistemas, con lo cual se ven afectada múltiples actividades asociadas con el uso del agua (CONAMA).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

De acuerdo a la recopilación de antecedentes basados en efectos negativos sobre las actividades humanas. Es posible suponer que las sequías en Chile es un proceso recurrente. Se ha estimado que en el periodo comprendido entre 1540 y 1986 han existido 51 años secos y 52 años muy secos, es decir el 23% de los últimos 450 años ha presentado algún grado de sequía (Bonilla, 1999)

4.1.3.1.- Tipos de sequías.

A continuación se describen los tipos de seguías:

- a) Sequía Meteorológica: Involucra una reducción en la precipitación en algún período (día, mes, temporada, año) por debajo de una cantidad determinada, normalmente definida como alguna proporción del promedio a largo plazo para un período de tiempo específico. Su definición sólo comprende datos de precipitación.
- b) Sequía Hidrológica: Se refiere a una reducción en los recursos hidrícos (flujo en ríos, nivel de lagos, agua subterránea, mantos acuíferos) por debajo de un nivel determinado para un período dado de tiempo. Su definición sólo incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agrícola).
- c) Sequía Agrícola: es el impacto que las sequías meteorológicas e hidrológicas tienen sobre esta esfera particular de la actividad humana. Los cultivos requieren condiciones muy particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento para alcanzar su desarrollo máximo. Si la disponibilidad de humedad (o de cualquier otro factor) es inferior al nivel óptimo requerido durante el desarrollo, entonces el crecimiento será menor y la producción se reducirá.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

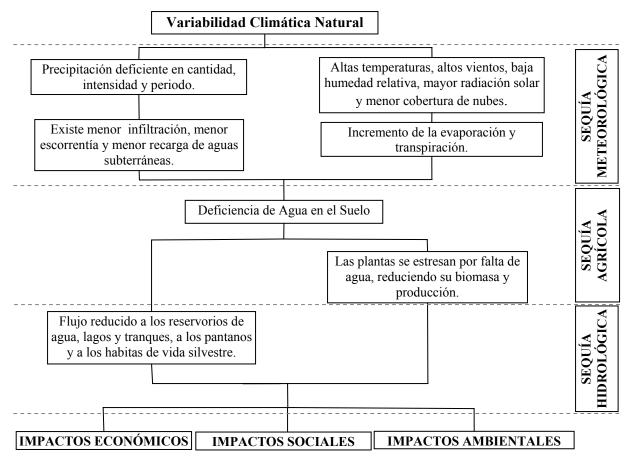


Figura 4.1 Relación entre los tipos de sequía. Fuente: National Drought Mitigation Center (2003).

4.2.- Eventos Catastróficos a lo Largo de la Historia.

Los eventos que se detallarán en la tabla 4.1 incluyen principalmente temporales y sequías que abarcan principalmente el Norte Chico y la cuenca del río Elqui.

Tabla 4.1 Recuento de eventos catastróficos. Extracto de (Urrutia et al., 1993)

FECHA	EVENTO
1827	Inundación.
11 MARZO 1855	Crecidas del río Elqui amenazaron con inundar Vicuña.
1865	El río corrió de barranco a barranco inundando el barrio santa Inés, La Serena.
JULIO 1877	Fuertes temporales que afectaron desde el desierto de Atacama hasta Chiloé, río Limarí quedo invadeable
1880	Inundaciones en el norte, los ríos Huasco, Coquimbo, Limarí, Choapa y sus afluentes tuvieron crecidas devastadoras, causando perjuicios principalmente en los canales de irrigación.
1891	Frente de mal tiempo en Coquimbo, Limarí y Choapa tuvieron crecidas devastadoras.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1899	Temporales
1902	Inundaciones en el norte: Desbordando el río Coquimbo y produciendo serias inundaciones en La Serena, el barrio norte quedo sepultado bajo el agua.
MAYO DE 1905	Inundaciones: el temporal afectó principalmente a Vicuña y sus alrededores por los desbordes de ríos y canales. En Vicuña el río se salió a media noche, en Paihuano el río arrastró parte del poblado y las casas de los fundos. En Chanchoquí se destruyeron dos viviendas, en Diaguitas, la vía férrea y los tendidos del telégrafo quedaron destruidos en varios sectores y la mayoría de las viviendas se anegaron, en el Molle solo se salvaron las escuelas, la iglesia y cuatro casas del poblado. En Montegrande por lo menos seis fundos fueron arrasados, otras tantas casas y una fábrica de madera. En Rivadavia desapareció el antiguo puente el algarrobal, el molino, las casas y los fundos. El río Choapa creció mas de nueve metros en varios sectores, inundando terrenos cultivados, viviendas y caminos; se produjeron estancamientos y aluviones que arrasaron con todo a su paso. Por lo menos se perdieron las casas y bodegas de seis haciendas y el agua se llevo sembrado y pastizales por más de ochenta cuadras, con toda la dotación de animales.
1906	Inundaciones, desbordes de los ríos Copiapó y Huasco.
1908 y 1909	Sequías, en el Norte Chico, principalmente en Combarbalá, que significó carencia de los productos, cesantía, malas cosechas y pérdida de las sementeras.
1909	Los promedios de agua caída alcanzaron apenas un tercio de lo normal.
1911 y 1912	Los años secos que se han sucedido en Chile han dado lugar a la escasez de agua en gran parte del territorio.
1911 FEBRERO	Las poblaciones de Pozo Almonte, Huara, Pisagua y otras sufrieron un a gran inundación, a la que siguió una tormenta de nieve en la cordillera. En el mes de junio llovió entre Antofagasta e Iquique, el día 21 se descargó una fuerte lluvia, acompañada de un huracán que rompió varios techos; este mismo temporal llego hasta La Serena y Coquimbo. En julio nevó en las zonas más seca de la cordillera; las montañas situadas al interior de San Pedro de Atacama quedaron cubiertas con nieve, lo mismo que la localidad de San Pedro de Atacama, donde la nieve alcanzo a tener diez pies de espesor.
1924	La sequía experimentada en la zona central del país en el año 1924 significó que entre Coquimbo y el Maule se produjeron, por lo menos un millón de quintales menos de trigo. Se calculó que solo en la provincia de Coquimbo las pérdidas de trigo alcanzaron a ciento treinta quintales métricos. En la provincia de Coquimbo se calculó que desaparecieron doscientos mil ovejunos, doscientos cincuenta mil caprinos y veinte mil vacunos.
1933	Sequía. La sequía devastó una extensa zona entre Atacama y Coquimbo, cientos de animales en los valles interiores murieron a consecuencia de la falta de agua y de hierbas. El río Elqui se seco perjudicando la producción de higueras, duraznos y perales.
1934	Temporales, el rió Coquimbo se desbordó, en Andacollo quedaron alrededor de mil personas sin hogar, la mayoría debieron albergarse en escuelas. Murieron cinco personas. En los alrededores de Vicuña, La Unión y otros sectores también hubo desbordes del río, alrededor de tres millones de pesos fuerón las pérdidas que sufrieron los chacareros y pequeños agricultores del Valle de Elqui; en Rivadavia, Paihuano y Diaguitas las plantaciones de uvas desaparecieron bajo el agua.
1938	Inundaciones en Copiapó. Las crecidas de los ríos ocasionaron daños en Copiapó, en las principales calles de la ciudad, Colipi, Copiapó y Shalt, el agua subió a más de cuarenta centímetros.
1946	La sequía abarcó las provincias de Atacama y Coquimbo. Se perdieron los cultivos de catorce mil hectáreas de terreno secano, de noventa a cien mil quintales métricos de trigo, cebada y otros.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1948	Huracanes y temporales; un gigantesco ciclón barrió Chile de norte a sur, los primeros días de mayo de 1948, dejando perdidas del orden de los sesenta millones de pesos. Coquimbo, La Serena y todo el Norte Chico recibieron también el efecto de esta formidable avalancha de viento y agua, que pagaron con creces el término de la prolongada sequía. Coquimbo perdió treinta chalupas pesqueras que pertenecían a modestos trabajadores del mar. El huracán fue paulatinamente desplazándose hacia el sur, afectando parte de la bahía de Valparaíso, para bloquear luego las ciudades de Temuco, Osorno y Puerto Montt.
1955	La mitad de Chile agrícola, desde Malleco hasta Coquimbo esta bajo los efectos de una desastrosa sequía.
1957	Temporales e inundaciones, entre el 18 y 20 de mayo. Se desencadenó un fuerte temporal sobre el Norte Chico y la zona central que dejó un saldo de alrededor de ocho mil millones de pesos en daños materiales en lo puertos, por lo menos veinte muertos y cuatro mil damnificados. En La Serena el agua y el fuerte viento derribaron los postes del alumbrado público, de teléfonos y de telégrafo, la ciudad quedo prácticamente aislada. Las inundaciones fueron de todo tipo: la población del puente fiscal resulto totalmente destruida, sus habitantes apenas alcanzaron a salvar unos cuantos enseres. Varias poblaciones obreras quedaron deterioradas. El río Elqui se desbordó arrasando las viviendas que se habían levantado en sus orillas. Coquimbo también quedo aislado del país por los medios corrientes de comunicación, sufrió además, la interrupción de los servicios de agua potable y alcantarillado.
SEQUIA EN EL NORTE CHICO ENTRE 1960 Y 1962	Sequía en el Norte Chico en el año 1960. La superfície regada en los departamentos de La Serena, Coquimbo y Elqui, bajó de veinticinco mil hectáreas a once mil novecientos veinte, debido a que se regó con el cuarenta por ciento de las dotaciones de los ríos Elqui y Coquimbo.
SEQUIA EN EL NORTE CHICO EN 1964	La sequía llegó hasta Valparaíso y Quillota desde La Serena, Elqui, Coquimbo y Vallenar.
1967	Sequía: Un año seco, con fuertes heladas hubo en el Norte Chico y en la zona central durante 1967. El gobierno declaró zona de emergencia desde Coquimbo a Colchagua.
1968 y 1969	La peor sequía en cien años, situación dramática para nuestro país, terremoto seco, fueron algunas de las frases que se leyeron en los diarios y revista capitalinos a partir de julio de 1968, en este año no hubo lluvias ni nieve. Entre Copiapó, donde el déficit alcanzo al cien por ciento y Llanquihue las perdidas fueron enormes. Las provincias más afectadas fueron Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso, Santiago y O'higgins
SEQUIA EN EL NORTE CHICO ENTRE 1970 Y 1971	En 1970 solo los tranques La Paloma y Recoleta tenían una reserva del veinte por ciento de su capacidad; los otros Cogotí, Lautaro, Runge, Culimo, estaban secos y los ríos Choapa, Elqui, Limarí y Copiapó llevaban escasa agua. En enero de 1971 las condiciones de sequía se mantuvieron prácticamente iguales a los años anteriores; los ríos llevaban el quince por ciento del agua normal y la mayoría de los embalses con excepción de la Paloma, estaban secos.
SEQUIA EN EL	En enero fueron declaradas zona de catástrofe las provincias de Atacama y Coquimbo.
NORTE CHICO	
1975	
1977	Temporales, un frente de mal tiempo se extendió desde la cuata región al sur.
1981	Temporales: Entre abril y junio, varios frentes de mal tiempo afectaron el Norte Chico, dejando daños de diversa consideración. Entre el 12 y 17 de mayo nuevos temporales dejaron muertos, heridos y graves daños en las carreteras, puentes, viviendas, puertos y en los servicios de utilidad pública, entre el Norte Chico y el extremo austral. En Ovalle, la primera lluvia fue tan intensa que los agricultores la consideraron perjudicial para las cosechas de ají, tomates y pimentones.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

1982	Entre el 12 y 17 de mayo, gran parte del país soportó inestabilidades atmosféricas que se tradujeron en temporales de viento y lluvia, ocasionando por lo menos seis muertos, cientos de damnificados y daños diversos en viviendas, caminos, puentes y obras públicas. Entre el 25 y el 28 de junio, otro sistema frontal se extendió entre la Cuarta y la Séptima región; hubo dieciocho muertos, ochocientos dos heridos, dieciocho mil cuatrocientas setenta y cuatro personas damnificadas, quinientas setenta y ocho viviendas destruidas y tres mil ciento setenta y una dañadas.
1983	Frentes de mal tiempo, fuertes marejadas se produjeron en gran parte del litoral, los primeros días de febrero; la braveza y la salida del mar ocasionó daños en la costanera, puertos y balnearios de Mejillones, Coquimbo, Huasco, Tongoy, La Herradura, Talcahuano, Constitución y Puerto Montt. Las marejadas continuaron en marzo, hubo daños que dejaron fuera de servicio los muelles de Iquique y Pisagua. Los puertos de Tocopilla, Mejillones, Taltal, Valparaíso, San Antonio y Talcahuano se cerraron en forma preventiva, durante algunos días. En los primeros días de julio, el mal tiempo con lluvia y nieve ocasiono daños en Iquique, Antofagasta, Ollagüe, Sierra Gorda, Taltal, Calama, Chuquicamata y en el Valle de Elqui. Hacia fines de julio, otro temporal azotó a La Serena, Coquimbo río Hurtado, Monte Patria, Combarbalá y algunos sectores de la V Región.
1984	Temporales de julio, setenta muertos, ciento cuarenta mil ochocientos setenta y seis damnificados, setenta heridos, once desaparecidos, veinticuatro mil seiscientos veintiocho viviendas dañadas, cuatro mil novecientos sesenta y tres viviendas destruidas, localidades aisladas. Como consecuencia de desbordes de los ríos caminos cortados, puentes destruidos, aludes en la cordillera principalmente en el complejo aduanero los libertadores, en la V Región, tramos de ferrocarriles interrumpidos, pasos inundados, prolongados cortes de agua potable, luz y comunicaciones, hicieron realmente dramática la situación que vivió la población de las regiones II, IV, VI, VII, VIII, IX, X y Metropolitana, entre el 2 y el 15 de julio, a raíz de un prolongado frente de mal tiempo con fuertes lluvias, vientos y nevazones.
1986	Sequía: En octubre, los medios de comunicación daban cuenta de por lo menos cuatrocientas mil cabras habrían muerto a consecuencia de la sequía que había en la Cuarta Región. El fenómeno climático afectaba esta temporada a una extensa zona del país, provocando los mayores daños en la provincia de Limarí, diezmando el ganado menor que se estimaba en un millón de ejemplares.
SEQUIA ENTRE	El 26 de octubre se dictó un decreto supremo declarando zona de catástrofe a diecisiete comunas de
1990 Y 1991	la II, IV y V regiones, a raíz de la sequía que los afectaba.
1995	Año seco donde apenas cayeron 13 mm en La Serena y en Vicuña Montegrande, Pisco Elqui y Alcohuaz las precipitaciones no superarón los 5 mm durante el año.
1997	Con la influencia del fenómeno de El Niño, considerado el más grande que se tenga registro, se cortaron puentes, comunidades aisladas y centenares de damnificados. Crecida de la Quebrada Santa Gracia con 14 personas aisladas y Alud en Almendral con dos personas muertas.

4.3.- Ocurrencia histórica de la sequía en la IV Región.

En este punto nos referiremos a los tipos de sequía meteorológica la cual es detallada en el punto 4.1.3.1, donde entenderemos por "eventos de sequía" a períodos de tiempo con déficit de precipitaciones. En este contexto, desde 1915 a 2003 se han dado 15 años de sequía y 11 años de sequía extrema, afectando principalmente a la cuenca del río Elqui. Se entiende por sequía precipitaciones entre 30 y 60 mm durante un año, mientras que se considerará un año de sequía extrema precipitaciones menores que 30 mm por año (tabla 4.2).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 4.2 Años en los cuales se produjo

seguía o seguía extrema.

Sequías	Sequías Extremas
30 - 60mm	menos de 30 mm
1925	1916
1933	1924
1947	1960
1951	1968
1955	1969
1962	1970
1973	1979
1974	1988
1981	1989
1985	1995
1990	1998
1993	
1994	
1996	
1999	

Fuente: Hajek, 1981, completado hasta 2003.

En la tabla 4.2 está referida solamente a la cuenca de Elqui. Esta tabla fue completada con los registros de las estaciones de: La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui y La Ortiga.

Se presenta a continuación la tabla 4.3 la cual comprende el periodo 1980-2003, donde se muestran la cantidad de años en que las precipitaciones de las estaciones de La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui y La Ortiga.

Tabla 4.3 Número de años con sequía y sequía extrema.

AÑOS DE SEQUÍA Y SEQUÍA EXTREMA, periodo 1980-2003		
ESTACIÓN	AÑOS ENTRE 30-60 mm	AÑOS MENOS 30 mm
La Serena	6	5
Almendral	4	5
Vicuña	4	2
Rivadavia	9	4
Montegrande	3	8
Pisco Elqui	8	4
La Ortiga	3	2

4.4.- Ocurrencia histórica de inundaciones (Conte, 1986)

Entre 1900 y 1981 se produjeron 522 eventos distribuidos en 373 en la cuenca de

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Elqui, 80 en la de Limarí y 69 en Choapa. Posterior a esta fecha se consideran las inundaciones causadas por el temporal de julio de 1984 donde los damnificados superaron las treinta mil personas en la región y los temporales correspondientes al año 1997 (año Niño) causaron aludes e inundaciones por las crecidas de las quebradas; un ejemplo de esto es la quebrada Santa Gracia en la localidad de Islón y el alud de la localidad de Almendral donde murieron dos personas. Más recientemente tenemos el aluvión de Diaguitas ocurrido el 22 de Abril del año 2003, donde afortunadamente no hubo víctimas fatales, pero dejando a 38 personas damnificadas. Hay que pensar que un año lluvioso no significa necesariamente inundaciones, pues éstas dependen de la intensidad de las precipitaciones; el problema se presenta cuando cae una gran cantidad de agua en poco tiempo. Otro de los factores principales de inundaciones o crecidas es cuando cae precipitación líquida sobre nieve derritiendo esta última. Además existen casos más excepcionales relacionados con la obstrucción del cauce principal de un río ya sea por deslizamiento de tierra u otro factor; un ejemplo de estos es lo sucedido en Quebrada Algarrobal en el año 1934.

Con respecto a los eventos de inundación, la más vulnerable es la cuenca de Elqui, pues por ser más árida y más angosta, presenta mayor ocupación para actividades humanas (agrícolas, etc.) en el lecho de inundación del río. El río Elqui en su curso superior presenta peligro potencial en los meses diciembre y enero, pero a pocos kilómetros de La Serena el peligro se extiende también a los meses de invierno de junio y agosto.

4.5.- Deslizamientos de Tierra.

Según (Gulubev, 1969), en esta región se dan las tres condiciones para que se produzcan corrientes de barro, las cuales son: material detrítico, chubascos ocasionales torrenciales y topografía con pendiente igual o mayor a 25%.

Desde 1915 a 1983 se notificaron 110 deslizamientos de tierras de los cuales tres provocaron daños a la propiedad agrícola. Luego de este periodo existen varios casos de los cuales se dieron ejemplos en el punto anterior. Los principales factores de los deslizamientos se detallan en la tabla que se muestra a continuación.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 4.4 Factores detonantes de deslizamientos de Tierras.

FACTOR	Porcentaje
Precipitaciones	45.2
Actividad Humana	30.1
Sismos	15.1
Nevazones	3.2
Deshielos	3.2
Agua Subterránea	3.2

Fuente: ONEMI 1981.

Entre las actividades humanas causantes de eventos de deslizamiento de tierras en esta zona, se debe nombrar las siguientes: Deforestación de laderas, construcción de canales, construcción de puentes y detonaciones de explosivos no controladas (inherentes a actividades mineras).

4.6.- Estudios de Casos.

En este punto se hará referencia a los temporales acontecidos en los años 1984 y 1997 año Niño, además de la sequía que afectó gran parte del país durante los años 1993,1994, 1995 y 1996.

4.6.1.- Temporal de 1984.

El año 1984 fue un año que presento "características" de un evento Niño pero, si se miran los años Niño, no esta asociado a ningún evento Niño.

Lo que aparentemente ocurrió ese año fue que una masa de agua polar se ubicó entre los 50°S y 60°S, estabilizando la atmósfera en dicha zona, es decir, se generó una alta presión muy fría y estable que persistía en la zona por varios días. Como consecuencia de lo anterior, la costa central y norte de Chile era, en comparación, más cálida, "simulando" una condición Niño. Los sistemas frontales se desviaron por efecto de la alta polar e ingresaron al continente mucho más al norte de lo habitual, afectando la zona. (Héctor Concha, Meteorólogo CMEI, conversación personal).

Las precipitaciones caídas durante ese año se detallan en la tabla 4.5, lo curioso que sucedió con las precipitaciones fue que este año llovió menos en la ciudad de La

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Serena a diferencia de lo ocurrido al interior del Valle donde las precipitaciones superaron ampliamente a los años anteriores (1982-1983) catalogados como años Niños (ver figuras 1.7 y 3.3).

Tabla 4.5 Precipitaciones en milímetros para los sectores de las estaciones de La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Montegrande y Pisco Elqui. Datos: DGA

Año	La Serena	Almendral	Vicuña	Rivadavia	Montegrande	Pisco Elqui
1984	148.8	242	256.5	350.6	286	382.5

Los temporales de este año se presentaron en el mes de julio o mejor dicho las dos primeras semanas de este mes donde cayó prácticamente toda la lluvia correspondiente a ese año. La figura 4.2 nos muestra la cantidad de agua caída en los sectores de La Serena, Almendral, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui y La Ortiga durante el mes de Julio del año 1984.

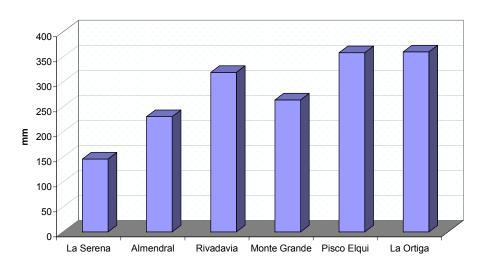


Figura 4.2 Precipitaciones durante el mes de Julio de 1984. Datos DGA.

Como muestra la figura 4.2, la cantidad de agua caída durante este mes es sumamente alta, considerando las características de la Región. Las precipitaciones que se muestran en la tabla 4.2 cayeron en un periodo de once días. La figura 4.3 muestra la distribución que tuvieron las precipitaciones durante los once primeros días del mes de julio.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

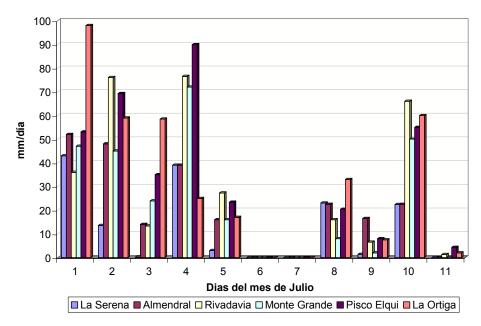


Figura 4.3 Distribución de las precipitaciones durante los once primeros días del mes de julio de 1984.

Sin lugar a dudas que otro factor importante fue la gran cantidad de agua caída por día y la cantidad de días con esta intensidad. Esta lluvia caída en el mes de julio se puede dividir en dos, la primera la cual esta constituida por un frente que persistió los cinco primeros días del mes, luego hubo dos días en los cuales no se presentaron precipitaciones, luego de estos dos días las precipitaciones cayeron por cuatro días más, probablemente asociadas a otro sistema frontal.

4.6.1.1.- Consecuencias del Temporal.

Dentro de los factores más importantes y relevantes desde el punto de vista meteorológico, son las altas precipitaciones diarias que se mantuvieron durante los frentes de mal tiempo, teniendo como efecto una saturación de los suelos y sobrepasando ampliamente la capacidad de infiltración de los mismos. Debido a esto se produjeron inundaciones que causaron más de 33.500 damnificados en la región, cortes de camino, desborde del río Elqui o Coquimbo (como se le llamaba en la época), destrucción de canales en la bocatoma y en su cuerpo, inundaciones de terrenos agrícolas, asilamientos de pueblos y la avenida de la quebrada El Arrayán, donde los daños causados por el o los temporales superaron los 1.500 millones de pesos.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Como efecto de los temporales se produjeron cortes de los caminos más importantes, como los son el camino que une La Serena con Ovalle y el camino de La Serena con Vicuña, además del corte de la carretera 5 Sur quedando dividido el país tal como sucedió con los temporales de 1997 donde las aguas se llevaron el puente El Teniente. El efecto causado por el corte fue el mismo, personas retenidas en el terminal de buses y una imposibilidad de mandar ayuda por vía terrestre, estableciéndose un puente aéreo. El corte del camino entre La Serena y Ovalle se produjo a la altura de la localidad de las Cardas, por la bajada de las quebradas, las cuales hicieron desaparecen el camino en un tramo de 50 metros, mientras que el corte del camino entre La Serena y Vicuña también se produjo por la bajada de una quebrada, pero esta fue mucho mayor. La bajada de la quebrada El Arrayán corto la carretera en un tramo de cien metros, botando catorce postes eléctricos y seis postes telefónicos (recordar que esta quebrada se ubica entre Las Rojas y Marquesa); este corte fue uno de los que dejó aislados a todos los pueblos elquinos y la ciudad de Vicuña. También se produjo el corte del camino hacia Altovalsol por la Ruta 41, la cual había quedado cortada luego que el aumento del caudal del río Elqui dañara los terraplenes de acceso. Para restaurar dicho camino se realizaron trabajos preliminares que permitieron restaurar el curso de las aguas del río Elqui, además de la construcción de nuevos terraplenes. No solamente los caminos sufrieron los efectos del caudaloso río Elqui, también lo sufrieron los puentes que cruzan el río, los cuales en su mayoría sufrieron deterioros y uno de los más afectados fue el puente El Libertador el cual fue cortado en su terraplén, principalmente por el desborde del río Elgui.

Hay que mencionar también que en varios sectores el río Elqui se desvió de su cauce tradicional afectando principalmente terrenos agrícolas del sector de Alfalfares. En este sector existían muros de contención, los cuales fueron llevados por el río con alrededor de veinte hectáreas de las parcelas ribereñas. La existencia de los muros de contención en esta localidad, nos dice que este no es un evento que no haya ocurrido nunca si no más bien, eventos que se han presentado en el pasado.

Sin duda alguna uno de los eventos más impactantes durante el temporal fue la bajada de la quebrada El Arrayán, la cual se produjo la noche del miércoles 4 de julio luego de tres a cuatro días con gran cantidad de precipitaciones. Esta bajada como ya

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

se mencionó se llevó cien metros de carretera y postes, dejó 16 hectáreas de terrenos agrícolas inutilizadas, las cuales se encontraban con viñas y otras cuarenta quedaron con una gran cantidad de barro y lodo. Esta misma bajada se llevo cerca de seiscientas ovejas, las cuales pertenecían a un criadero que se encontraba a un costado de la Ruta 41 a la altura de la quebrada El Arrayán. Una vez escuchada la noticia y cesado la lluvia los lugareños salieron a pescar al río ovejas, donde la gente se arriesgaba hasta el grado de meterse amarrada al río Elqui, con el único fin de obtener un animal para alimentarse (Diario el Día).

Los daños en los canales de regadío fueron considerables, pero sin dudas uno de los más afectados fue el canal Bellavista el cual poesía una extensión de 58 kilómetros. Para reparar los daños de este canal se dispuso de 10 millones de pesos.

Gran parte de los pueblos interiores sufrieron daño, donde los poblados de Horcón y Pisco Elqui, quedaron virtualmente en el suelo o llegaron hasta el río, la causa de esto fue el reblandecimiento del terreno, por lo que las casas que soportaron la lluvia se deslizaron hasta el río. Las quebradas Santa Gracia y cercanas formaron un gran río que al pasar por Islón se llevaron algunas casas completas.

Según las estadísticas de la época, la tragedia que afectó a la Cuarta Región y particularmente a las ciudades de La Serena, Coquimbo y Andacollo, supera los efectos dejados por el Aluvión del año 1957, año en el cual también sucedieron acontecimientos trágicos.

Finalmente, en este punto, mostraré el informe oficial de la situación regional con respecto al temporal, Este informe fue dado a conocer por la Intendencia Regional el día lunes 16 de Julio de 1984 (Tablas 4.6 hasta 4.9)

Comuna	Familias	Adultos	Menores	Total	Total Damnificados Albergues y Fuera
La Serena	170	323	407	730	9.630
La Higuera	9	18	29	47	464
Vicuña	33	87	96	183	418
Paihuano	50	118	138	256	401
Coquimbo	145	296	315	611	6.907
Andacollo	100	251	232	483	2.160
Total	507	1.093	1.217	2.310	19.980

Tabla 4.6 Total de damnificados por comuna en la Provincia de Elqui.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Comuna	Familias	Adultos	Menores	Total	Total Damnificados Albergues y Fuera
Ovalle	311	646	750	1396	2.123
Río Hurtado	-	-	-	-	344
Monte Patria	69	146	228	374	1.267
Punitaqui	106	209	292	501	645
Combarbala	62	180	140	320	3.423
Total	548	1.181	1.410	2.591	7.802

Tabla 4.7 Total de damnificados por comuna en la Provincia de Limarí.

Comuna	Familias	Adultos	Menores	Total	Total Damnificados Albergues y Fuera
Illapel	64	154	133	258	2.833
Salamanca	82	163	259	422	1.353
Mincha	89	224	317	541	2.553
Los Vilos	72	174	158	332	932
Total	307	715	867	1553	7.671

Tabla 4.8 Total de damnificados por comuna en la Provincia de Choapa.

Comuna	Familias	Adultos	Menores	Total	Total Damnificados Albergues y Fuera
TOTAL REGIÓN	1.362	2.989	3.494	6.454	35.453

Tabla 4.9a Total de damnificados para la Región de Coquimbo.

Viviendas	Dañadas	Destruidas		
Provincia				
Elqui	4.615	1.139		
Limarí	1.185	577		
Choapa	851	331		
TOTAL IV REGION	6.651	2.047		

Tabla 4.9b Total de viviendas viviendas dañadas y destruidas por provincia.

4.6.2.- Sequía de 1994, 1995 y 1996.

Desde el año 1994 hasta mediados de 1997, se presentó un prolongado y severo periodo de sequía el cual abarcó desde la III hasta la XI Regiones y ocasionó perdidas en la producción agrícola y ganadera del orden de los 107.500 millones de pesos, de los cuales 43.000 millones correspondieron al periodo 1996-1997.

Para el combate de esta sequía el Ministerio de Agricultura destino cerca de 33 mil

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

millones de pesos, los cuales se dirigieron principalmente al abastecimiento de las comunidades rurales de agua de bebida y riego, alimentación para el ganado y programas de forestación los cuales permitieron beneficiar cerca de un millón de personas afectadas por la sequía.

La sequía originada por la falta de precipitaciones (sequía meteorológica) afecta directamente a toda actividad humana, empezando por la agricultura en los sectores de secano (sequía agrícola) y continuando en la disminución de los caudales hídricos superficiales y subterráneos (sequía hidrológica), lo que incide en el agua de riego e incluso en el agua para consumo humano.

La Tabla 4.4 muestra las precipitaciones registradas en la cuenca para los años 1993, 1994, 1995 y 1996, las cuales no superaron los 60 mm al año, a excepción de La Ortiga que apenas supero los 70 mm. El año más crítico fue 1995 donde solamente se superaron los 10 mm en La Serena. Hay que mencionar que en ese entonces no existía el embalse Puclaro, por lo que, la escasa agua que traía el río Elqui se iba directamente al mar. De aquí la importancia del segundo embalse existente en la cuenca, el cual puede ayudar a palear en forma considerable las próximas sequías (recordar actualmente ofrece una seguridad de riego del orden del 85% para 20.700 ha apróx.).

En ninguna parte se habló de 1993 como un año seco, pero los registros de precipitaciones para la cuenca lo catalogan como uno seco (figura 4.4).

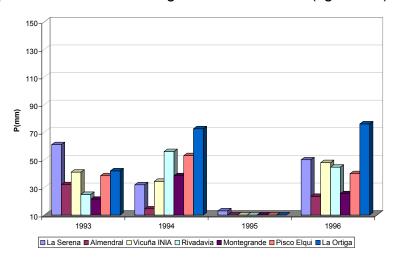


Figura 4.4 Precipitaciones anuales periodo 1993-1996.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

4.6.3.- Temporales de 1997.

El año 1997, fue un año que venía precedido por cuatro años secos (1993, 1994, 1995 y 1996), motivo por el cual se había declarado zona de catástrofe. Como muestra de lo contradictorio que puede ser nuestro país o región en particular, el día 23 de junio de 1997 se decretó nuevamente zona de catástrofe entre las regiones tercera y novena, esta vez, el motivo de este decreto fueron los intensos temporales.

El año 1997 fue un año lluvioso tanto para la zona norte y centro de nuestro país, las cuales se vieron afectados por el fenómeno de El Niño. Las precipitaciones en todo el Valle de Elqui, superaron con creces los 200 mm, mientras que en Santiago se superaron los 700 mm de precipitaciones.

En la tabla 4.10 se muestran las precipitaciones anuales de 1997 para las estaciones de La Serena, Almendral, Vicuña, Rivadavia, Montegrande, Pisco Elqui y La Ortiga.

Tabla 4.10 Precipitaciones en mm, registradas en el año 1997.

La Serena	Almendral	Vicuña	Rivadavia	Montegrande	Pisco Elqui	La Ortiga
221,8	304	269,5	333	331,5	402,7	662,5

En el Valle de Elqui, las lluvias de este año se distribuyeron en más de un noventa por ciento del total anual en los meses de Junio, Julio y Agosto, donde las precipitaciones más intensas se sucedieron en los meses de Junio y Agosto (ver figura 4.5), por lo que hablaré de dos temporales de gran magnitud los cuales causaron grandes pérdidas, tanto para la región como para el país.

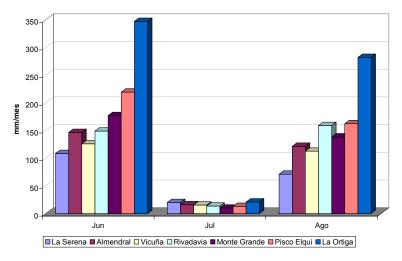


Figura 4.5 Precipitaciones en mm, registradas durante los meses de junio, julio y agosto de 1997.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Las precipitaciones del temporal del mes de junio de 1997, comenzaron el día 10 y continuaron durante los días 11, 12 y 13 de junio (este último día solo se registraron precipitaciones en los sectores de Pisco Elqui y La Ortiga). La cantidad de agua caía fue aumentando a medida que transcurrían los días y avanzaba el temporal, alcanzándose la mayor cantidad el día 12 de Junio (ver figura 4.6).

Tal como ocurrió con las precipitaciones del mes de Julio en el año 1984, las precipitaciones se produjeron con una alta intensidad y duración de más de dos días a lo largo del Valle de Elqui.

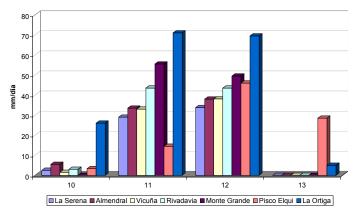


Figura 4.6 Precipitaciones registradas durante los días 10, 11, 12 y 13 de Junio de 1997.

Las principales consecuencias de estas precipitaciones se detallan a continuación:

En la comuna de Paihuano se produjeron varios cortes en la ruta D-485 la cual une Rivadavia con Alcohuaz. El motivo de los cortes de caminos fuerón las bajadas de las quebradas y rodados. Anegamientos de viviendas en Paihuano, Montegrande y Pisco Elqui. Mientras que en Vicuña en varios sectores del Río Elqui las aguas arrastraron puentes peatonales, como el de Rivadavia lo cual hizo recordar los temporales de 1984. Prácticamente todas las quebradas bajaron, algunas de ellas con enorme caudal como las de Leiva y San Carlos las cuales dejaron aislada a la ciudad de Vicuña por el oriente y poniente. También se produjo la bajada de otras quebradas como las de El Tambo, Seca, Los Loros, Uchumí, Algarrobal y la Plata.

Las localidades de Nueva Talcuna y Marquesa quedaron sin energía eléctrica y sin su principal puente, debido a que la quebrada de Marquesa arrasó con 17 postes.

Posterior a esto, las precipitaciones se presentaron nuevamente en la cuenca los días 17, 18, 19, 20 y 21 de junio, esta vez con una menor intensidad (figura 4.7),

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

producto de un nuevo frente de mal tiempo que afectó gran parte del país. Las consecuencias de este frente fueron tal que el Gobierno decretó zona de catástrofe todas las comunas comprendidas entre la III y IX Región. Este decreto tuvo por finalidad que las autoridades regionales y centrales pudieran agilizar los trámites que se deben seguir con el objeto de acelerar los procesos de reconstrucción de las obras viales y sociales destruidas por el frente de mal tiempo. Además que las donaciones que se hicieron con el fin de ayudar a los damnificados queden exentas de pagar impuesto.

Como consecuencia de este nuevo frente de mal tiempo, en la cuarta Región se registraron a lo menos unas 149 mil personas aisladas, de unas 700 localidades.

La cifra de damnificados se elevó a 15.300 considerando el temporal anterior, de los cuales 830 se albergaron.

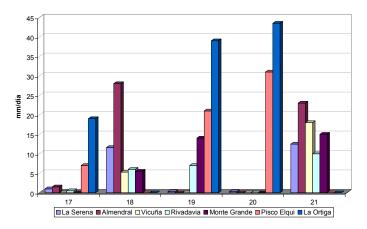


Figura 4.7 Precipitaciones registradas en la cuenca durante los días 17, 18, 19, 20, y 21 de Junio 1997.

Como consecuencia de las precipitaciones el día miércoles 18 de junio un aluvión se dejo caer sobre el poblado de El Almendral matando a dos personas, destruyendo ocho viviendas y dañando otras cuantas, la fuerza del aluvión arrasó con todo a su paso, casas, animales, árboles y rocas.

Según relatos de los pobladores dicen que bajaron lenguas de agua desde los cerros, inmensas piedras y rocas.

También se presentaron marejadas en la costa, afectando principalmente la Avenida del Mar donde se produjeron cuantiosos daños.

En relación a los caminos, la cuarta Región cuenta con una red básica de caminos de 1.800 kilómetros, la cual da acceso a la totalidad de las principales localidades y "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

comunas de la cuarta Región. Los cortes de camino comenzaron en la carretera en la ruta 5 Norte a la altura de Punta Colorada, a lo que se agregaron deslizamientos de tierra, anegamientos y pequeños derrumbes en otros puntos de la Ruta 5. Posteriormente los cortes de camino fueron provocados por las bajadas de las quebradas en distintos sectores, como ejemplo están las de Punta Colorada, Caleta de Hornos y San Carlos en el Valle de Elqui.

También se produjeron daños en los canales de regadío de la cuenca, los cuales fueron considerables. El canal San Pedro Nolasco el cual se encuentra en la tercera sección del río Elqui y cuya superficie de riego corresponde a un 90% de los cultivos de temporada se vio afectado en el sector de bocatoma, el cual fue socavado por el río, borrando el canal de aducción en aproximadamente 50 metros y embancando otros 50 metros.

En el sector de Pelícana se produjeron desprendimientos en una longitud de 200 metros, afectando al canal Cutún el cual se encuentra en una cota inferior.

En el sector de Quebrada los Perales, se produjo un colapso del canal en una longitud de 50 metros.

Se han detallado algunos efectos en los canales del Valle de Elqui. Estos mismos efectos se repitieron en muchos otros canales del Valle y de La Región, los cuales causaron daños millonarios.

Los daños a los agricultores pequeños fueron dados a conocer por INDAP, en un catastro de pérdidas el cual se detalla a continuación para la Cuarta Región.

El número de pequeños agricultores es de 14.922 donde los agricultores afectados son 5.223, el cual equivale al 35%. Los principales rubros afectados son las hortalizas, frutales, parronales, empastadas, masa caprina y bovina, mientras que la principal infraestructura fueron los canales de regadío, pozos y tranques.

En la madrugada del 12 de julio nuevamente un aluvión destruyo 6 casas en Diaguitas. Este aluvión arrastró toneladas de barros y piedras dejando a cincuenta personas damnificadas, Este aluvión fue el segundo registrado en Diaguitas en tres semanas, ya que anteriormente se había registrado uno el sábado 21 de junio.

Un nuevo temporal se presentó tanto en la Región como en el país. Esta vez las precipitaciones se presentan por tres días consecutivos en el Valle de Elqui (no se

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

considera el día 15 de Agosto, debido a que solo se registraron precipitaciones en Pisco Elqui y La Ortiga figura 4.8). Las mayores precipitaciones se registraron durante los primeros dos días, donde en el primero (día 16 de Agosto) se superaron los 40 mm de agua caída en todo el Valle.

El recuento en la Región dejó 29.629 personas afectadas por el temporal, de las cuales 7.016 resultaron damnificadas y se albergaron 2.018 personas, mientras que las viviendas destruidas sumaron 476 y las viviendas con daños mayores alcanzaron las 1.034.

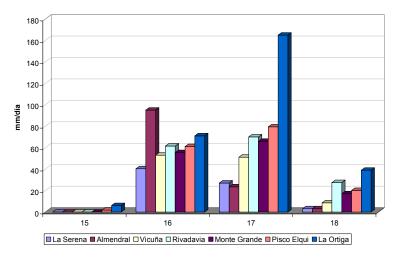


Figura 4.8 Precipitaciones registradas en la cuenca del río Elqui durante los días 15, 16, 17 y 18 de agosto de 1997.

A esta altura del año y con los temporales anteriores, gran parte del país se encontraba seriamente dañado por lo que este nuevo temporal solamente incrementó más los daños. La cuarta Región fue una de las más afectadas por el temporal.

Este nuevo temporal que abarcó desde la tercera a la novena Región tuvo por consecuencias principales en la Región; un nuevo aislamiento, cortándose la Ruta 5, en dirección hacia el Sur como hacia el Norte.

Los daños en la Región de Coquimbo se repiten con cada nuevo temporal, bajadas de quebradas, cortes de caminos, pueblos aislados, miles de damnificados, daños en el sector agrícola y en los canales de regadío.

De la misma forma en que se repiten los daños en la Región estos se repiten en el Valle de Elqui: cientos de damnificados, viviendas destruidas, viñas anegadas, puentes dañados, caminos cortados y bajadas de quebradas.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

La mayoría de las localidades interiores quedaron aisladas, sin luz ni agua, con escasos alimentos, con casas destruidas parcial y completamente. El recuento realizado el día 21 de Agosto en la comuna de Vicuña menciona, 2.200 viviendas con daños menores, 140 con daños mayores, 118 completamente destruidas, 350 albergados en las escuelas y el total de personas afectadas por el temporal alcanzó las 10.000 personas. En la comuna de Paihuano, 180 damnificados, 50 viviendas con daños menores, 2 completamente destruidas en quebrada de Pinto y 40 albergados. En distintos puntos de la comuna colapsó el sistema de agua potable por lo cual los sectores como Pisco Elqui, La Jarilla, Montegrande, Quebrada de Pinto y Pueblo Hundido se quedaron sin suministro de agua por alrededor de cinco días (el abastecimiento de agua se realizó al igual que en todos los sectores por camiones alijibes).

Una de las localidades más afectada fue la de Islón, donde quedaron catorce personas aisladas por la crecida de la quebrada Santa Gracia. En La Serena mientras tanto, se produjo el colapso del puente ferroviario y socavamientos en el Puente el Libertador y Fiscal. Una de las cosas más significativas fue el corte de suministro de agua potable para el sector de las compañías debido al corte del sistema de aducción de agua potable que une La Serena con Las compañías, en las compañías no faltó la persona inescrupulosa la cual vendió el litro de agua hasta en cuatrocientos pesos 400.

Finalmente se mostrará el recuento por provincia:

- Provincia de Elqui: hubo tres muertos y un desaparecido, 20.376 personas afectadas, 4.991 damnificados, 315 viviendas destruidas y 812 viviendas con daños mayores.
- 2) Provincia de Limarí: hubo 1 muerto, 1.105 personas afectadas, 363 personas en albergues, 400 damnificados, 95 viviendas destruídas y 21 viviendas con daños mayores.
- **3) Provincia de Choapa:** se registraron 8.148 personas afectadas, 737 albergadas, 1.625 damnificados, 66 viviendas destruidas.

Hay que mencionar que el temporal del mes de agosto de 1997 causo daños por

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2.880 millones de pesos, los cuales se desglosan en 1.000 millones en daños a la estructura vial, 1.600 millones en daños a canales privados, 200 millones en canales estatales y 80 millones en instalaciones de agua potable rural. Acá no se contabilizaron los daños en terrenos agrícolas, viviendas y otros, con lo cual la cifra final de los daños supera ampliamente los 2.200 millones de pesos.

Para finalizar este capítulo resumiré una artículo publicado el Domingo 22 de junio de 1997 en el Diario el Día.

"Períodos de Sequía y Aluviones Datan de Tiempos Inmemoriales" Opinan Expertos y Cronistas de la Ciudad

Los períodos de sequía y los aluviones del Río Elqui marcan en forma muy significativa la historia de la Región de Coquimbo.

Esto data de la época en que los españoles instalan la villa y posterior ciudad de La Serena, oportunidad en que pedro de Valdivia conoció este valle en medio de un muy espectacular período de precipitaciones, lo que queda claramente establecido en las cartas que el conquistador envía en el año 1540 al 47, al Rey Carlos V, donde éste exalta la vida vegetal, la que califica de admirable.

Sin embargo en 1549 recién instalada la Villa de La Serena, Francisco de Aguirre y el Cabildo de La Serena presentan al rey una petitorio donde le piden la condonación del pago de impuestos debido a un gran período de sequía, lo que indica que estos fenómenos han acompañado a La Serena desde hace muchos siglos.

ESTADISTICAS

Algunos estudios realizados por expertos indican que los años más lluviosos que tuvo la Región de Coquimbo corresponden aproximadamente al 1491-1492, simultáneamente con el descubrimiento de América.

También hubo períodos de sequía muy cruentos, que corresponden del 1560 al 1600, donde uno de los grandes problemas que presenta la economía de época era la imposibilidad de extraer oro por la falta de agua, específicamente en Andacollo y la zona de Espíritu Santo (hoy Canela).

Posteriormente historias de la época indican que en 1595, los serenenses afectados por una sequía muy dura le envían una carta al Sumo Pontífice, donde le piden que interceda ante el altísimo para que se acabe ese período de gran sequía y mortalidad.

CATASTROFES Y ALUVIONES.

A patir de los años 1880-81, se tienen recuerdos d grandes lluvias y aluviones. Desde esa fecha en adelante y en forma cíclica cada 15, 20 ó 40 años se repiten estos fenómenos con lluvias intensas, grandes nevazones y crecidas de ríos, los que en su gran mayoría dejaron cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas.

Expertos opinan que el hecho de que la gente construya en el lecho de las quebradas es una situación que se ha producido como consecuencia de la gran marginalidad a la cual se ha ido condenando el sector rural.

Datos de antaño indican que nuestros antepasados de los molles, diaguitas y ánimas hicieron sus asentamientos humanos en las partes altas de las quebradas, justamente para evitar el descenso de éstas, evitando así la muerte de seres humanos y animales.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO V "MODELOS CLIMATICOS, ESCENARIOS DE EMISIONES DE GEI Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS"

5.1.- Modelos Climáticos.

Los modelos climáticos generales se basan en leyes de la física representadas por ecuaciones matemáticas cuyas soluciones se aproximan numéricamente utilizando algoritmos pertinentes, aplicados sobre una grilla tridimensional en torno al globo terráqueo. A fin de simular el clima, los principales componentes del sistema climático deben representarse en submodelos (la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, la criosfera y la biosfera), junto con los procesos que ocurren entre ellos y dentro de cada uno de ellos. Los modelos climáticos mundiales en los que se han acoplado los componentes atmosféricos y oceánicos se conocen también con el nombre de Modelos de la Circulación General Atmósfera—Océano (MCGAO).

En el módulo atmosférico, por ejemplo, se resuelven ecuaciones que describen la evolución a gran escala del impulso, la temperatura y la humedad. Se resuelven ecuaciones similares con respecto a los océanos. Actualmente, la resolución de la grilla de la parte atmosférica de un modelo típico es de aproximadamente 250 km en la horizontal y de alrededor de 1 km en la vertical por encima de la capa límite. La resolución de un modelo oceánico típico oscila aproximadamente entre 200 y 400 m en la vertical, con una resolución horizontal de entre 125 y 250 km. Muchos procesos físicos, como los que están relacionados con las nubes o la convección oceánica, ocurren en escalas espaciales mucho más pequeñas que las grillas de los modelos y en consecuencia no pueden modelarse y resolverse en forma adecuada. Sus efectos medios se incluyen en forma aproximada con un método simple, aprovechando sus relaciones basadas en la física con las variables a mayor escala. Esta técnica se conoce con el nombre de parametrización.

Para poder hacer proyecciones cuantitativas del cambio climático futuro, es

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

necesario utilizar modelos climáticos que simulen todos los procesos importantes que rigen la evolución futura del clima. Los modelos climáticos se han perfeccionado en los últimos decenios gracias al importante avance de la tecnología computacional. Originalmente se crearon modelos separados de cada uno de los componentes principales, la atmósfera, la superficie terrestre, los océanos y el hielo marino, que luego se fueron integrando gradualmente. El acoplamiento de los distintos componentes es un proceso complejo y difícil.

Recientemente se han incorporado componentes del ciclo del azufre para representar las emisiones de azufre y la forma en que éstas se oxidan para formar partículas y aerosoles. Actualmente se está tratando de acoplar, en unos pocos modelos, el ciclo del carbono terrestre con el del carbono oceánico. La componente de química atmosférica se está incorporando en un modelo separado del modelo climático principal. El objetivo final es, por supuesto, incluir en el modelo la mayor parte posible del sistema climático de la Tierra, para que todos los componentes puedan interactuar y para que de esa manera las predicciones del cambio climático puedan siempre tener en cuenta el efecto de las retroacciones entre los distintos componentes. En la Figura 5.1 puede verse la evolución de los modelos climáticos en el pasado y el presente, y su posible evolución en el futuro. Los MCGAO son muy complejos y se requieren computadoras muy potentes para poder ejecutarlos. Con frecuencia se utilizan también modelos más sencillos para investigar en mayor profundidad distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y los efectos de ciertas hipótesis o aproximaciones en los parámetros del modelo. Las simplificaciones pueden consistir en una menor resolución y en procesos dinámicos y físicos simplificados. Juntos, los modelos simples, intermedios e integrales forman una "jerarquía de modelos climáticos".

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

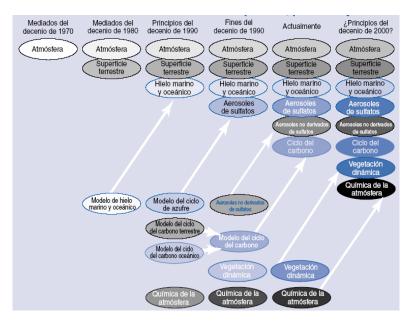


Figura 5.1 Elaboración de modelos climáticos: pasado, presente y futuro. Fuente IPCC, 2001.

5.2.- Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Los escenarios de emisiones son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y son un instrumento apropiado para analizar la manera en que influirán el crecimiento demográfico, desarrollo socio-económico y el cambio tecnológico (IPCC, 2000).

Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y mitigación.

La posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de los escenarios es muy remota, solamente nos dan una idea de cómo podrían evolucionar las emisiones de GEI.

Los escenarios de emisiones representan las diversas fuerzas determinantes y los distintos tipos de emisiones los cuales tienen por objeto reflejar los conocimientos actuales sobre los márgenes de incertidumbre. En ellos sólo se han excluido los escenarios "sorpresa" o de "desastre" (oscilaciones climáticas). Un escenario contiene necesariamente elementos subjetivos y se presta a interpretaciones diversas.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

A estos escenarios no se le ha asignado probabilidad de ocurrencia, por lo cual cada escenario tiene las mismas posibilidades de que se presente.

Para describir de manera coherente las relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución, y para añadir un contexto a la cuantificación de los escenarios, se desarrollaron cuatro líneas evolutivas diferentes. Cada una de ellas representa un cambio (o tendencia) demográfico, social, económico, tecnológico y medioambiental, que algunos pueden valorar positivamente, y otros, negativamente.

Los escenarios abarcan un gran número de las principales fuerzas determinantes, demográficas, económicas y tecnológicas de las emisiones de GEI y de dióxido de azufre. Cada escenario representa una interpretación cuantitativa específica de una de las cuatro líneas evolutivas. El conjunto de escenarios basados en una misma línea evolutiva constituye una "familia" de escenarios.

Para cada línea evolutiva, se han desarrollado varios escenarios distintos basados en diferentes planteamientos de los modelos, con objeto de examinar todos los posibles resultados que se obtendrían de una serie de modelos basados en unos supuestos similares sobre los factores determinantes. Se utilizaron seis modelos representativos. Una de las ventajas de basarse en una multiplicidad de modelos radica en que los 40 escenarios resultantes del IE-EE abarcan, en su conjunto, todos los valores de incertidumbre actuales de las emisiones de GEI que se derivan de diferentes características de dichos modelos, además de los conocimientos actuales sobre (y de las incertidumbres a que dan lugar) las fuerzas determinantes de los escenarios, como, por ejemplo, los cambios o tendencias demográficos, sociales o económicos, o los grandes cambios tecnológicos que determinan los modelos, según se describe en las líneas evolutivas.

5.2.1.- Clasificación de los Escenarios.

A continuación en la figura 5.2 se muestran las líneas evolutivas y las familias de escenarios.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

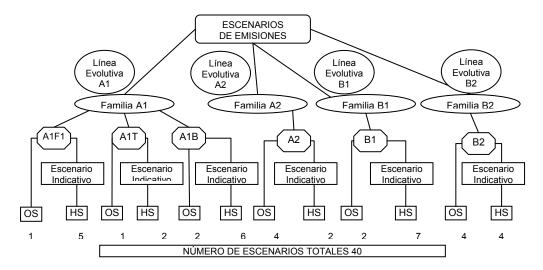


Figura 5.2 Escenarios de emisiones. Muestra cuatro líneas evolutivas cualitativas las que proporcionan cuatro conjuntos de escenarios denominados "familias": A1, A2, B1 y B2. En total, seis equipos de modelizadores han desarrollado 40 escenarios IE-EE. Todos ellos son igualmente válidos, y no tienen asignadas probabilidades de hacerse realidad. El conjunto de escenarios se compone de seis grupos de escenarios tomados de las cuatro familias: un grupo de cada una de las familias A1, B1 y B2, y tres grupos de la familia A1, que caracterizan el desarrollo alternativo de tecnologías de energía: A1F1 (utilización intensiva de combustibles de origen fósil), A1B (equilibrado) y A1T (predominantemente con combustibles de origen no fósil). Dentro de cada familia y grupo de escenarios, algunos de ellos comparten supuestos "armonizados" sobre la población mundial, el producto interior bruto y la energía final. Éstos están marcados con los grupos de letras "HS", en el caso de los escenarios armonizados, y con "OS" para los escenarios que exploran las incertidumbres asociadas a las fuerzas determinantes más allá de los escenarios armonizados. Se indica también el número de escenarios desarrollados en cada categoría. Para cada uno de los seis grupos de escenarios se ofrece un escenario ilustrativo (que será siempre armonizado).

En trece de esos 40 escenarios se exploran distintas variaciones de los supuestos relativos a las tecnologías de la energía.

Dentro de cada familia, se han desarrollado dos clases principales de escenarios: unos, basados en supuestos armonizados sobre la población mundial, el crecimiento económico y el uso final de la energía, y otros basados en una cuantificación alternativa de la línea evolutiva.

En conjunto, se han armonizado 26 escenarios mediante la adopción de unos supuestos comunes sobre la población mundial y sobre el desarrollo del producto interior bruto (PIB). Así pues, los escenarios armonizados de cada familia no son independientes entre sí. En los 14 escenarios restantes se han adoptado interpretaciones alternativas de las cuatro líneas evolutivas, con objeto de explorar las incertidumbres adicionales con independencia de los planteamientos metodológicos de los distintos escenarios. Dichos escenarios están también relacionados entre sí dentro de cada familia, aun cuando no compartan supuestos comunes con respecto a algunas

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

fuerzas determinantes.

5.2.2.- Descripción de los Escenarios.

Hay seis grupos de escenarios que deberían considerarse igualmente adecuados y que abarcan muy diversos valores de incertidumbre. Dichos escenarios abarcan cuatro combinaciones de cambios demográficos y de evoluciones sociales y económicas, así como de grandes corrientes tecnológicas, en correspondencia con las cuatro familias (A1, A2, B1, B2), cada una de ellas acompañada de un escenario de referencia a título ilustrativo.

Dos de los grupos de escenarios de la familia A1 (A1F1, A1T) exploran explícitamente evoluciones alternativas de las tecnologías de la energía manteniendo constantes las demás fuerzas determinantes, cada una de ellas con un escenario ilustrativo. Un crecimiento rápido produce un rendimiento del capital elevado, lo cual significa que una diferencia inicialmente pequeña entre dos escenarios puede convertirse en una gran diferencia en 2100. Por esa razón, para ilustrar este efecto se ha elegido la familia A1, en la que el cambio tecnológico es más rápido que en todas las demás.

Una decisión adoptada en 1998 por la Mesa del IPCC, consistente en facilitar proyectos de escenario a los modelizadores del clima en el Tercer Informe de Evaluación para que los utilicen como datos entrantes. Se eligió un escenario de referencia de cada uno de los cuatro grupos de escenarios, basándose en sus líneas evolutivas. La elección de los escenarios de referencia estaba basada en la cuantificación inicial que mejor reflejaba la línea evolutiva y en diversas características de los distintos modelos. Los escenarios de referencia no son ni más ni menos probables que cualquier otro escenario, pero los autores del IE-EE los consideraron representativos de una línea evolutiva dada.

5.2.3.- Fuerzas Determinantes de las Emisiones de GEL

Las principales fuerzas determinantes de las futuras concentraciones de los gases de

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

efecto invernadero en la atmósfera seguirán siendo: el cambio demográfico, el desarrollo social, desarrollo económico, la rapidez y dirección del cambio tecnológico.

En cuanto a la población se han tomado tres trayectorias diferentes de población diferentes que corresponden a valores diferentes del desarrollo socioeconómico. Las familias de escenarios A1 y B1 están basadas en los bajos valores obtenidos de la proyección de 1996 del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA). Representan la trayectoria más baja, que aumenta hasta 8.700 millones de aquí a 2050 y disminuye hasta 7.000 millones en el período hasta 2100, combinando de ese modo una baja fertilidad con una baja mortalidad.

La familia de escenarios B2 está basada en la proyección de población media de 1998 de las Naciones Unidas a largo plazo, que arroja 10.400 millones en el período hasta 2100.

La familia de escenarios A2 está basada en un escenario de crecimiento de población elevado, de 15.000 millones para el año 2100, derivado de una notable disminución de la fertilidad en la mayoría de las regiones, seguida de una estabilización en niveles superiores a los de crecimiento vegetativo; es inferior a la proyección elevada de las Naciones Unidas de 1998, cifrada en 18.000 millones.

Todos los escenarios describen futuros generalmente más prósperos que nuestro presente. Los escenarios abarcan muy diversos niveles futuros de actividad económica, con un producto mundial bruto que superará en 10 veces los valores actuales de aquí a 2100, en el escenario más modesto, y en 26 veces en el escenario más optimista.

En muchos de los escenarios del IE-EE se ha supuesto un acortamiento de las diferencias entre las distintas regiones del mundo. Dos de las familias de escenarios, la A1 y la B1, exploran explícitamente trayectorias alternativas que reducen gradualmente las diferencias en términos relativos.

La tecnología es una fuerza determinante tan importante al menos como el cambio demográfico o el desarrollo económico. Todas estas fuerzas están relacionadas entre sí. Dentro de la familia A1, la presencia de escenarios basados en las mismas fuerzas determinantes demográficas y socioeconómicas pero en unos supuestos diferentes con respecto a la tecnología y a la dinámica de los recursos ilustra la posibilidad de que se obtengan trayectorias muy divergentes para la evolución de los sistemas energéticos y

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

de las pautas de utilización de las tierras.

Los escenarios del IE-EE abarcan una mayor diversidad de estructuras energéticas que los escenarios IS92. Esta particularidad refleja la existencia de incertidumbres sobre el futuro de los recursos de combustible de origen fósil y sobre el cambio tecnológico. Abarcan virtualmente todas las direcciones de cambio posibles, desde las basadas en un alto porcentaje de combustibles de origen fósil, petróleo y gas o carbón, hasta las que presuponen un alto porcentaje de combustibles de origen no fósil.

En la mayoría de los escenarios, la extensión forestal mundial sigue disminuyendo durante varios decenios, como consecuencia principalmente del aumento de la población y de los ingresos. Esta tendencia actual termina invirtiéndose en la mayoría de los escenarios, siendo las familias B1 y B2 las que arrojan el mayor aumento final de la extensión forestal de aquí a 2100, en comparación con 1990. Los correspondientes cambios de utilización agrícola de la tierra están determinados principalmente por la variación de la demanda de alimentos que suscitarán los cambios demográficos y dietéticos.

Hay muchos otros factores sociales, económicos, institucionales y tecnológicos que afectan también a la parte proporcional de tierras agrícolas, bosques y otros tipos de explotación de las tierras. Diferentes métodos analíticos arrojan resultados también muy diferentes, lo cual indica que, en esos escenarios, el cambio futuro de utilización de las tierras dependerá en gran medida del modelo.

Todas estas fuerzas determinantes no sólo influyen en las emisiones de CO₂, sino también en las emisiones de otros GEI.

En la Figura 5.3 se representan con mayor detalle los niveles de emisiones totales del CO₂ según los seis grupos de escenarios que constituyen las cuatro familias (es decir, las familias A1, A2, B1 y B2, más tres grupos pertenecientes a la familia A1: A1F1, A1T y A1B).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

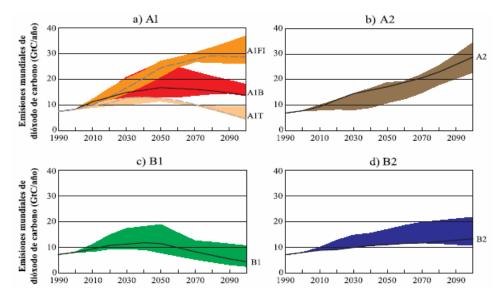


Figura 5.3 Emisiones mundiales de dióxido de carbono para las familias A1, A2, B1y B2. Fuente IPCC, 2001.

En muchos escenarios del IE-EE, las emisiones de CO₂ procedentes de la pérdida de bosques alcanzan un máximo al cabo de varios decenios y disminuyen después progresivamente. Esta pauta concuerda con los escenarios de las demás publicaciones del IPCC y puede vincularse a una disminución del crecimiento de la población, seguida de una disminución en algunos escenarios, a un aumento de la productividad agrícola y a una mayor escasez de tierras boscosas.

En muchos casos, estos factores hacen posible que se invierta la actual tendencia de disminución de la cubierta forestal. Las emisiones disminuyen más rápido en la familia B1. Sólo en la familia A2 se mantienen en un nivel positivo los niveles de emisiones antropogénicas netas de CO₂ resultantes del cambio de uso de las tierras de aquí a 2100.

Al igual que las emisiones relacionadas con la energía, las emisiones de CO₂ vinculadas al cambio de uso de la tierra abarcan la mayor diversidad de valores en la familia A1. La diversidad en el conjunto de los escenarios aumenta gracias a un elevado crecimiento económico, a una mayor diversidad de alternativas, a las diferentes metodologías de modelización, y a la forma en que éstas tratan las tecnologías.

Según el IE-EE, las emisiones acumulativas totales de carbono emitidas por todas las fuentes hasta 2100 se cifran entre 770 GtC y 2540 GtC aproximadamente. Según el Segundo Informe de Evaluación (SIE) del IPCC, "toda posible concentración estabilizada se rige más por las emisiones de dióxido de carbono antropogénicas "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

acumuladas desde ahora hasta el momento de la estabilización que por la manera en que cambian esas emisiones durante el período." Por consiguiente, los escenarios se agrupan también en el informe en función de sus emisiones acumulativas (figura 5.4 y 5.5)

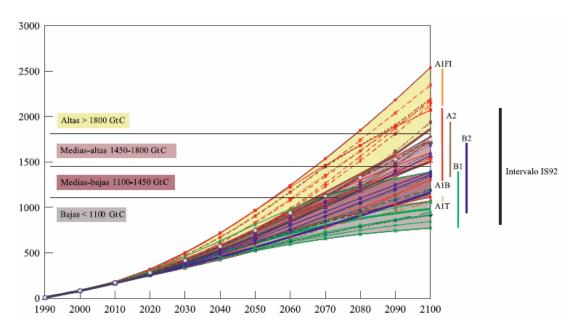


Figura 5.4 Emisiones totales de CO₂ acumulativas mundiales en GtC. Fuente IPCC, 2001.

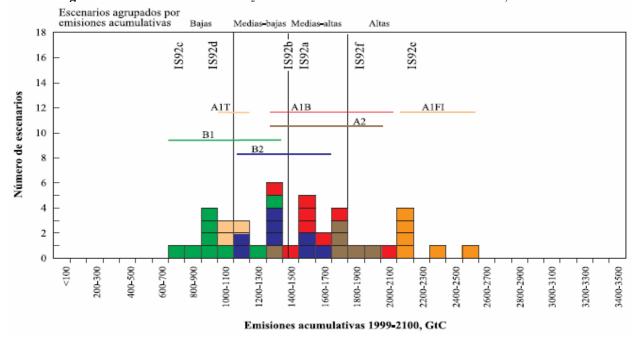


Figura 5.5 Escenarios agrupados por emisiones acumulativas. Fuente IPCC, 2001.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Los escenarios del IE-EE amplían el intervalo de valores del modelo IS92 hacia los valores de emisión superiores (en el IE-EE, el valor máximo es de 2.538 GtC, frente a 2.140 GtC en el IS92), pero no hacia los valores inferiores. La cota inferior para ambos conjuntos de escenarios es de aproximadamente 770 GtC.

5.3.- Datos Generados por los distintos Escenarios de Emisiones.

La Tabla 5.1 muestra la panorámica general de las principales fuerzas determinantes primarias en 1990, 2020, 2050 y 2100. Los números en negritas denotan los valores correspondientes al escenario ilustrativo, en tanto que los números entre paréntesis denotan el valor del intervalo para los 40 escenarios IE-EE de los seis grupos de escenarios que constituyen las cuatro familias. Las unidades se indican en la tabla. En la Tabla 5.1, el cambio tecnológico no está cuantificado.

Tabla 5.1 Panorámica general de las principales fuerzas determinantes. Los números entre paréntesis denotan el valor del intervalo para los 40 escenarios IE-EE de los seis grupos de escenarios que constituyen las cuatro familias. Fuente IPCC, 2000.

FAMILIA		A 1		A2	B1	B2
GRUPO DE ESCENARIOS	A1F1	A1B	A1T	A2	B1	B2
Población Miles de mill						
1990 (5,3)						
2020	7,6 (7,4-7,6)	7,5 (7,2-7,6)	7,6 (7,4-7,6)	8,2 (7,5-8,2)	7,6 (7,4-7,6)	7,6 (7,6-7,8)
2050	8,7	8,7 (8,3-8,7)	8,7	11,3 (9,7-11,3)	8,7 (8,6-8,7)	9,3 (9,3-9,8)
2100	7,1 (7,0-7,1)	7,1 (7,0-7,7)	7	15,1 (12,0-15,1)	7,0 (6,9-7,1)	10,4 (10,3-10,4)
PIB mundial 10 ¹² dólares de 1990/año						
1990 (21)						
2020	53 (53-57)	56 (48-61)	57 (52-57)	41 (38-45)	53 (46-57)	51 (41-51)
2050	164 (163-187)	181 (120-181)	187 (177-187)	82 (59-111)	136 (110-166)	110 (76-111)
2100	525 (522-550)	529 (340-536)	550 (519-550)	243 (197-249)	328 (328-350)	235 (199-255)
Proporción de ingresos por habitante entre los países desarrollados más los países de economía en transición y los países en desarrollo.						
1990 (16,1)						
2020	7,5 (6,2-7,5)	6,4 (5,2-9,2)	6,2 (5,7-6,4)	9,4 (9,0-12,3)	8,4 (5,3-10,7)	7,7 (7,5-12,1)
2050	2,8	2,8 (2,4-4,0)	2,8 (2,4-2,8)	6,6 (5,2-8,2)	3,6 (2,7-4,9)	4,0 (3,7-7,5)
2100	1,5 (1,5-1,6)	1,6 (1,5-1,7)	1,6 (1,6-1,7)	4,2 (2,7-6,3)	1,8 (1,4-1,9)	3,0 (2,0-3,6)

La tabla 5.2 muestra la panorámica general de las principales fuerzas determinantes primarias en 1990, 2020, 2050 y 2100. Los números en negritas denotan los valores correspondientes al escenario ilustrativo, en tanto que los números entre paréntesis denotan el valor del intervalo para los 26 escenarios IE-EE armonizados de los seis

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

grupos de escenarios que constituyen las cuatro familias.

En el Anexo 5.1 Se muestran los valores de las variables restantes para los distintos escenarios.

Tabla 5.2 Panorámica general para los 26 escenarios armonizados. Fuente IPCC, 2000,

Tabla 5.2 Panoralnica general para los 20 escenarios armonizados. Fuente IPCC, 2000.										
FAMILIA	A 1			A2	B1	B2				
GRUPO DE ESCENARIOS	A1F1	A1B	A1T	A2	B1	B2				
Población Miles de mill										
1990 (5,3)										
2020	7,6 (7,4-7,6)	7,4 (7,4-7,6)	7,6 (7,4-7,6)	8,2	7,6 (7,4-7,6)	7,6				
2050	8,7	8,7	8,7	11,3	8,7 (8,6-8,7)	9,3				
2100	7,1 (7,0-7,1)	7,1 (7,0-7,1)	7	15,1	7,0 (6,9-7,1)	10,4				
PIB mundial 10 ¹² dólares de										
1990/año										
1990 (21)										
2020	53 (53-57)	56 (52-61)	57 (56-57)	41	53 (51-57)	51 (48-51)				
2050	164 (164-187)	181 (164-181)	187 (182-187)	82	136 (134-166)					
2100	525 (525-550)	529 (529-536)	550 (529-550)	243	328 (328-350)	235 (232-237)				
Proporción de ingresos por										
habitante entre los países										
desarrollados más los países										
de economía en transición y										
los países en desarrollo.										
1990 (16,1)						(0)				
2020	7,5 (6,2-7,5)	6,4 (5,2-7,5)	6,2 (6,2-6,4)	9,4 (9,4-9,5)		7,7 (7,5-8,0)				
2050	2,8	2,8 (2,4-2,8)	2,8	6,6	3,6 (2,7-3,9)	4,0 (3,8-4,6)				
2100	1,5 (1,5-1,6)	1,6 (1,5-1,7)	1,6	4,2	1,8 (1,6-1,9)	3,0 (3,0-3,5)				

5.4.- Gases de Efector Invernadero Según su Escenario.

En la figura 5.6 se muestran las emisiones antropogénicas de los tres GEI más importantes, junto con las emisiones antropogénicas de dióxido de azufre, en los seis escenarios del IE-EE. También se indican con fines de comparación, las emisiones del escenario IS92a. Hay que mencionar que el nivel de las emisiones de dióxido de azufre en los seis escenarios del IE-EE es muy inferior al nivel de los escenarios IS92, debido a los cambios estructurales en el sistema de energía y a la preocupación por la contaminación del aire en el ámbito local y regional.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

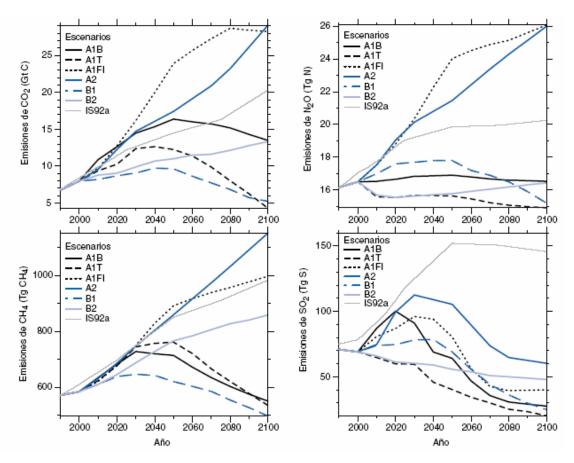


Figura 5.6 Emisiones antropogénicas de CO₂, CH₄, N₂O y dióxido de azufre en los seis escenarios ilustrativos del IE-EE: A1B, A2, B1 y B2, A1FI y A1T. Fuente IPCC, 2001.

Para el año 2100, los modelos del ciclo del carbono proyectan concentraciones atmosféricas de CO₂ de entre 540 y 970 ppm para los escenarios ilustrativos del IE-EE (entre 90% y 250% mayor que la concentración de 280 ppm en 1750). El efecto neto de las retroacciones climáticas terrestres y oceánicas, según indican los modelos, es un aumento aún mayor de las concentraciones atmosféricas proyectadas de CO₂ que se produce como consecuencia de una menor absorción de CO₂ tanto por los océanos como por los continentes. Estas proyecciones tienen en cuenta las retroacciones climáticas terrestres y oceánicas. Las incertidumbres, especialmente en cuanto a la magnitud de la retroacción climática causada por la biosfera terrestre, producen una variación de entre –10% y +30% en cada escenario, aproximadamente. El margen de variación total es de 490 a 1260 ppm (75% a 350% mayor que la concentración de 1750).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En la figura 5.7 se muestran las concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O resultantes de los seis escenarios del IE-EE y del escenario IS92.

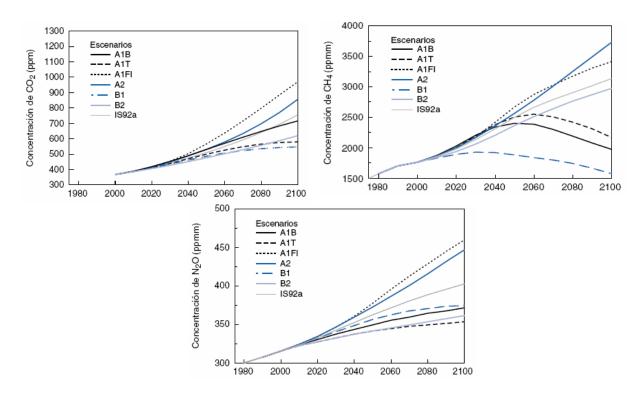


Figura 5.7 Concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O, los modelos indican que los escenarios ilustrativos del IE-EE dan lugar a trayectorias muy diferentes de la concentración de CO₂. Fuente: IPCC, 2001.

Las medidas destinadas a estimular el almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres podría influir en la concentración atmosférica de CO₂, pero el límite superior de la reducción de la concentración de CO₂ con ese método es de 40 a 70 ppm. Si todo el carbono liberado a raíz de los cambios históricos en el uso de la tierra pudiera ser reabsorbido por la biosfera terrestre en el transcurso de este siglo (por ejemplo mediante la reforestación), la concentración de CO₂ se reduciría en 40 a 70 ppm. Por lo tanto, es prácticamente seguro que las emisiones de CO₂ procedentes de los combustibles de origen fósil seguirán siendo el factor dominante de las tendencias que regirán la concentración atmosférica de CO₂ durante este siglo.

Los resultados que obtienen los modelos para la concentración de gases de efecto invernadero primarios distintos del CO₂ para el año 2100 varían considerablemente entre los seis escenarios ilustrativos del IE-EE. En general, los escenarios A1B, A1T y

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

B1 muestran los incrementos menores, mientras que los escenarios A1FI y A2 registran los mayores aumentos. Los cambios en la concentración de CH₄ entre 1998 y 2100 oscilan entre -90 y +1970 ppmm (-1% a +112%), y los aumentos de N₂O varían de +38 a +144 ppmm (+12% a +46%). Los HFC (134a, 143a y 125) alcanzan concentraciones que van de unos pocos cientos a unos miles de ppb, a diferencia de los niveles insignificantes de hoy en día. Se proyecta que el PFC CF₄ aumentará hasta alcanzar valores de entre 200 y 400 ppb, y que el SF₆ aumentará hasta llegar a un nivel de entre 35 y 65 ppb. En los seis escenarios ilustrativos del IE-EE se proyecta que las emisiones de gases de efecto invernadero indirectos (NO_x,CO, VOC), junto con los cambios en el CH₄, modificarán la concentración media mundial del radical hidroxilo (OH) troposférico en -20% a +6% durante el próximo siglo. Debido a la importancia del OH en la química de la troposfera, se producirán cambios análogos, aunque de signo opuesto, en el tiempo de vida en la atmósfera de los GEI CH₄ y los HFC. Este impacto depende en gran parte de la magnitud de las emisiones de NO_x y CO y del equilibrio entre ellas. Se calcula que entre 2000 y 2100, el nivel de O₃ troposférico se modificará entre –12% y + 62%. El aumento más importante que se pronostica para el siglo XXI corresponde a los escenarios A1FI y A2 y sería superior al doble del aumento registrado desde la era preindustrial. Ese aumento del O₃ puede atribuirse al fuerte crecimiento simultáneo de las emisiones antrópicas de NO_x y CH₄ (Fuente: IPCC, 2001.)

5.5.- Escenarios Climáticos.

En los puntos anteriores se ha hablado tanto de modelos climáticos como de escenarios de emisiones, pues tanto los escenarios de emisiones como los modelos climáticos son fundamentales a la hora de realizar o elaborar futuros escenarios climáticos. Actualmente se han elaborado una gran cantidad de futuros escenarios climáticos a nivel mundial, los cuales se han desarrollado utilizando diversos modelos climáticos y escenarios de emisiones. En la elaboración de escenarios climáticos para nuestro país ya se ha trabajado anteriormente, principalmente Santibáñez (1992), el cual ha creado escenarios tanto para Sudamérica como para Chile.

En el caso de Chile se han creado escenarios climáticos utilizando los modelos

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Goddard Institute of Space Studies (GISS), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) y el UK Meteorogical Office (UKMO) en conjunto con el escenario de emisión de duplicación de la concentración de CO₂ de 1990. También fue creado un escenario sintético donde se crearon cambios en la temperatura y la precipitación; estos fueron creados a través de un algoritmo logarítmico el cual suponía un incremento de la temperatura de 2° C en el ecuador y 8°C en los polos (Downing et al, 1994). Dentro de los posibles escenarios futuros también se han considerado los eventos de sequía los cuales pueden afectar a gran parte del país.

En Chile, el Modelo GFDL (General Fluid Dynamics Laboratory) ha sido utilizado para estimar las variaciones climáticas en diversas localidades distribuidas latitudinalmente, sin embargo al contrastar los valores reales con la simulación climática para la actual concentración de CO₂, las localidades al norte de los 30°S muestran las mayores desemejanzas debido a que el modelo no incorpora los efectos que genera la Cordillera de Los Andes y la Corriente de Humboldt sobre el clima local (Fuentes & Avilés 1994). En términos generales, la modelación actual sólo es capaz de proveer estimaciones del cambio de la temperatura y precipitación, aunque con considerable incertidumbre para esta última variable. Se plantea que en el norte chico de Chile ocurrirá un descenso en los montos pluviométricos (Fuentes & Avilés 1994).

5.5.1.- Escenarios Climáticos Proyectados Anteriormente.

En este punto se hará referencia a los escenarios generados para la "Primera Comunicación Nacional Bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático" trabajo que fue publicado por CONAMA en 1999.

En dicho trabajo se utilizó como parámetro indicativo del cambio climático la concentración atmosférica de 2*CO₂ de 1990. Los escenarios climáticos futuros fueron elaborados sobre la base de la aplicación local a escala nacional de los modelos de circulación general de la atmósfera (GFDL, GISS y UKMO), con lo cual se obtuvo un conjunto de valores para la precipitación, la radiación solar y la temperaturas, para distintas latitudes. Los resultados obtenidos mediante estos modelos fueron promediados y posteriormente atenuados de acuerdo a los resultados del modelo LINK.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En este trabajo no se aplicó ningún tipo de Downscaling.

5.5.1.1.- Resultados.

Los resultados entregados por los MCG para el escenario futuro de 2*CO₂, muestran cambios mayores a 30% en la pluviometría anual de ciertas áreas del país.

En la figura 5.8 se muestra la variación porcentual a lo largo de Chile, de las precipitaciones respecto del escenario que se vivía en 1999. Claramente los resultados de los modelos arrojaron una disminución importante de las precipitaciones para gran parte del país, incluyéndose la IV Región donde la disminución se encuentra en el rango de un 15-20 %.

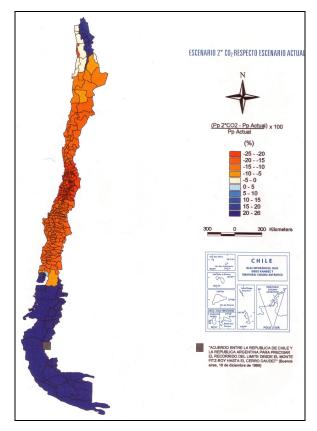


Figura 5.8 Escenario futuro para las precipitaciones, con concentración de CO₂ dos veces la concentración de 1990. Fuente: CONAMA, 1999.

En la figura 5.9 se detalla la precipitación anual que se obtendría en un escenario futuro, según los modelos mencionados anteriormente. Se puede apreciar una disminución de las precipitaciones en la zona central y Norte Chico de nuestro país.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Específicamente en nuestra cuenca los valores bajarían a un rango de entre treinta y sesenta milímetros en el año, Cabe mencionar que la simulación no supone un año específico, sino supone el año en que las concentraciones de CO₂ hayan duplicado a las concentraciones de dióxido de carbono registradas en el año 1990.

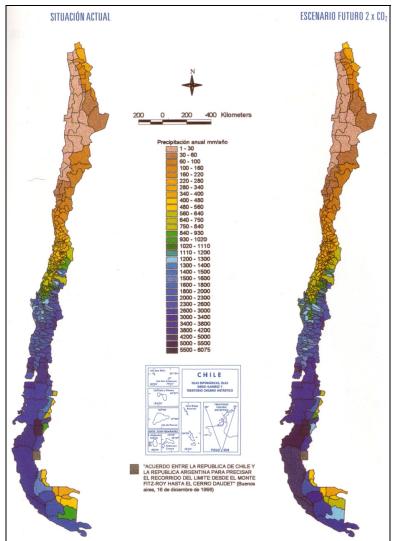


Figura 5.9 Precipitación anual para el escenario actual (1999) y el escenario futuro 2xCO₂. Fuente: CONAMA, 1999.

En relación a la temperatura, los modelos utilizados predijeron cambios significativos de la temperatura sobre el territorio nacional.

En las regiones primera y segunda, los aumentos de la temperatura estarían debajo de los 2°C, mientras que en el centro del país y la región austral, el alza de las temperaturas podría bordear los 3°C. En la figura 5.9 se muestra la distribución regional de los cambios en la temperatura. Los cambios proyectados para la temperatura en la "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

cuenca del río Elqui están en el rango de 2.7 a 3.0 grados Celsius.

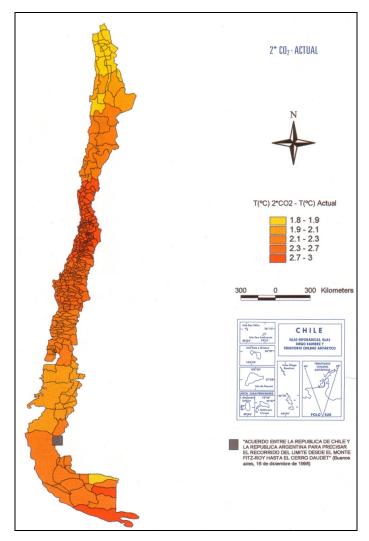


Figura 5.10 Variación de la temperatura a lo largo del país. Fuente: CONAMA, 1999.

5.6.- Herramientas para la Generación de Escenarios.

En este punto se hará una breve introducción a la utilización de algunas de las herramientas existentes para la generación de escenarios climáticos.

5.6.1.- Centro Canadiense para la Modelación y Análisis del Clima.

Este centro, como su nombre lo indica ofrece como herramientas dos modelos distintos, en distintas generaciones. En primer lugar tenemos los modelos generales de "Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

circulación atmosférica en sus tres versiones (AGCM1, AGCM2 Y AGCM3) y en segundo lugar tenemos los modelos climáticos globales acoplados, también en tres versiones (GCM1, GCM2 Y GCM3); obviamente las versiones van de más antigua a más reciente con sus mejoras respectivas.

En el caso de muestra se ha decidido utilizar la segunda generación del modelo climático global acoplado (CGCM2), Esta segunda versión del modelo CGCM2 está basado en el modelo anterior, CGCM1, realizándose algunas mejoras que apuntan a defectos existentes en la primera versión. La variable que se desea obtener de manera ilustrativa es la de la precipitación anual para los años 2004, 2005, 2010 y 2015. También se realizará una corrida para los meses de enero, febrero, junio y julio del año 2005, con el fin de representar el supuesto comportamiento de las precipitaciones tanto en meses de verano como invierno.

GCM2 ha sido usado para producir proyecciones del cambio de clima utilizando los escenarios antiguos del IPCC (IS92a), así como los más recientes escenarios (A2 y B2). Los resultados fueron utilizados en el tercer informe de evaluación del IPCC del año 2001.

Las opciones de corrida del modelo son cuatro y se detallan a continuación:

CONTROL: Datos de una simulación de control de 201 años con CGCM2 con retraso al siglo XX concentración atmosférica de gases de efecto invernadero.

GHG+A: Datos de un conjunto de tres simulaciones de 201 años con CGCM2 que usa el escenario del IPCC "IS92a" en el cual el escenario forzado es el cambio de los gases de efecto invernadero. El forzamiento corresponde a lo observado desde 1900 hasta 1990 y se incrementa a razón de 1% por año hasta el año 2100. El efecto directo de aerosoles de sulfato también es incluido.

A2: Datos de un conjunto de tres simulaciones de 111 años que usan el escenario del IPCC SRES "A2" GHG y el aerosol forzando el escenario. Las simulaciones comienzan en el año 1990 con condiciones iniciales correspondientes a las descritas anteriormente.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Los resultados de A2 se diferencian sólo modestamente de los resultados de IS92A.

B2: Datos de un conjunto de tres simulaciones de 111 años que usan el escenario del IPCC SRES "B2" GHG y aerosol forzando el escenario. Las simulaciones comienzan en el año 1990 con condiciones iniciales del miembro correspondiente de las carreras de GHG+A descritas anteriormente. El escenario B2 produce un calentamiento más modesto comparado al "IS92A" y "A2".

De las cuatro opciones mencionadas anteriormente se ha decidido observar los resultados generados por el modelo con la opción de escenario A2, la cual se detalló anteriormente. Hay que mencionar que el modelo o los modelos que se seleccionan solamente muestran los resultados que han sido obtenidos previamente mediante corridas respectivas de los modelos en sus laboratorios de origen. No se corre el modelo vía Internet por razones obvias.

Los resultados arrojados para los distintos años muestran en general, que para nuestra zona los valores de las precipitaciones son del orden de los 0.5 mm/día, marcándose claramente la influencia del anticiclón del Pacífico. En todas las figuras se aprecia el sector amarillo, la zona donde éste anticiclón ejercería su efecto con menores precipitaciones.

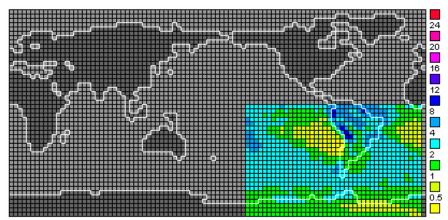


Figura 5.11 Precipitación en mm/día año 2004.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

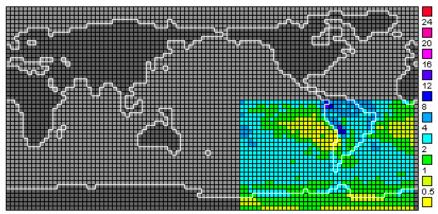


Figura 5.12 Precipitación en mm/día año 2005.

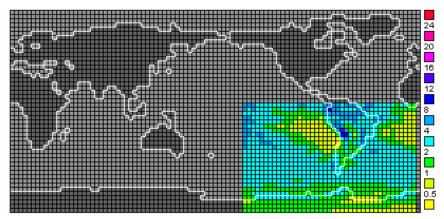


Figura 5.13 Precipitaciones en mm/día año 2010.

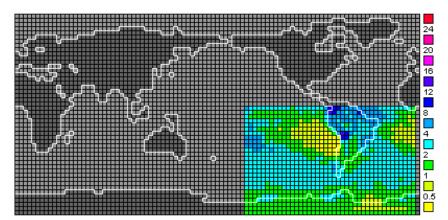


Figura 5.14 Precipitaciones en mm/día año 2015.

En las figuras se aprecia en la zona de predominio anticiclónico precipitaciones de 0.5 mm/día. En la zona de la Antártica vemos que las precipitaciones son del orden de 2 mm/día tanto para los años 2005, 2010 y 2015. Además se ven fuertes precipitaciones en el sector que corresponde a Bolivia.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

En cuanto a las condiciones mensuales que arroja el modelo podemos ver que el anticición sigue ejerciendo su efecto mayor en los meses de verano; en el sector boliviano llama mucho la atención que para el mes de enero y febrero del año 2005 se aprecian precipitaciones de 24 mm/día (figuras 5.15 y 5.16).

Para los meses de invierno, junio y julio los cuales son los más lluviosos en la Región, se aprecia que el anticición se encuentra desplazado a latitudes menores, permitiendo el ingreso de frentes de mal tiempo principalmente en la zona sur de nuestro país. Donde las precipitaciones se presentarían en mayor cantidad en el mes de junio del orden de los 8 mm/día. Las precipitaciones disminuirían en el mes de julio.

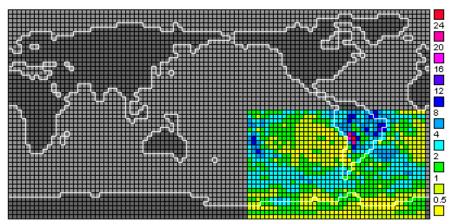


Figura 5.15 Precipitación para el mes de enero en mm/día año 2005.

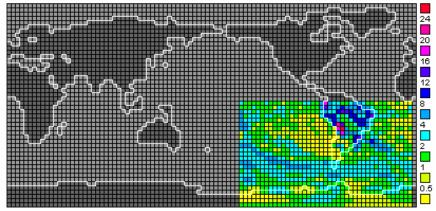


Figura 5.16 Precipitación para el mes de febrero en mm/día año 2005.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

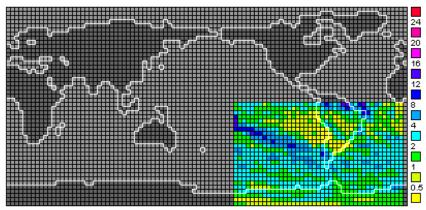


Figura 5.17 Precipitaciones para el mes de junio en mm/día año 2005.

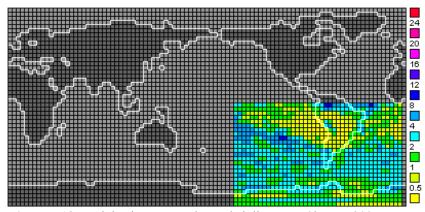


Figura 5.18 Precipitaciones para el mes de julio en mm/día año 2005.

Si bien el modelo posee algunos inconvenientes en cuanto a su resolución (5x5 grados de latitud y longitud) y sus unidades (mm/día), pudimos ver que representa de buena forma los fenómenos locales como el anticiclón del Pacífico y el invierno boliviano (figuras 5.15 y 5.16) por lo que puede ser una muy buena herramienta para introducirse a los MCG.

5.6.2.- MAGICC Y SCENario GENerator (SCENGEN).

MAGICC es un modelo para la evaluación del cambio climático inducido por los gases de efecto invernadero, el cual consiste en un conjunto de modelos simples conexos que, de manera colectiva, responden al género de Modelo Climático Simple definido por Harvey et al (1997). El programa MAGICC no es un modelo climático mundial (MCG), pero utiliza una serie de modelos reducidos para simular un comportamiento similar al de los MCG. MAGICC consiste en un conjunto de modelos

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

acoplados de ciclo gaseoso, clima y deshielo integrados en un solo programa. Dicho programa permite al usuario determinar los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, la temperatura promedio global del aire de superficie y el nivel del mar entre los años 1990 y 2100, debidos a las emisiones antropogénicas de CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), halocarbonos (por ejemplo, HCFC, HFC y PFC) y dióxido de azufre (SO₂). Los principales objetivos de MAGICC son los siguientes:

- a) Comparar, dentro de una misma sesión del programa, las consecuencias globales en el clima para dos escenarios de emisiones diferentes. Uno de esos escenarios es denominado por el programa, "escenario de referencia", y el otro, "escenario de política", aunque esa terminología permite la evaluación de dos escenarios de emisiones cualquiera, independientemente de si se derivan o no de la imposición de políticas en materia de clima.
- b) Determinar la sensibilidad de los resultados de los diferentes escenarios de emisiones frente a los cambios en los parámetros del modelo. Los márgenes de incertidumbre básicos se calculan por defecto, pero además, se pueden comparar los resultados de determinado escenario de emisiones, para un conjunto de parámetros del modelo especificados por el usuario, con los generados por un conjunto de valores de parámetros predefinidos.

Los usuarios pueden seleccionar los escenarios de emisiones que deseen usar, definir uno propio, e incluso modificar una serie de parámetros del modelo El programa MAGICC se puede usar solo sin pérdida de sus funciones, pero también se ha diseñado para usarse junto con SCENGEN.

Por otro lado SCENGEN realiza una representación del cambio climático regional y mundial. No es un modelo climático, sino una base de datos simple que contiene los resultados de un gran número de experimentos de MCG, así como un conjunto de datos climáticos mundiales observados y cuatro conjuntos de datos climáticos regionales observados. SCENGEN realiza la gestión de esos diversos campos de datos, utilizando la información sobre el ritmo y la magnitud del calentamiento mundial proporcionada por

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

MAGICC y de acuerdo con la selección que haga el usuario de las características importantes del escenario climático. El IPCC no ha utilizado oficialmente el SCENGEN, pero prácticamente todos los conjuntos de datos que usa SCENGEN, es decir, datos obtenidos por MCG y observaciones, han sido usados o evaluados las distintas evaluaciones del IPCC, incluido el tercer informe de evaluación.

En resumen podemos decir que el programa MAGICC/SCENGEN convierte escenarios de emisiones de los gases de efecto invernadero y dióxido de azufre en estimaciones de la temperatura media del aire de superficie y del cambio del nivel del mar, y posteriormente en descripciones de cambios futuros en el clima regional medio. El usuario puede intervenir en el diseño de escenarios de cambio climático mundial o regional de la manera siguiente:

- Seleccionando y especificando los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y dióxido de azufre.
- Definiendo los valores de un conjunto limitado de parámetros del modelo climático en MAGICC que guardan relación con las incertidumbres dentro del ciclo del carbono, en la magnitud del forzamiento del aerosol de sulfato y en la sensibilidad general del sistema climático mundial a los cambios introducidos por el hombre.
- Seleccionando el conjunto de resultados de MCG que se usarán.
- Especificando a qué período o períodos futuros del siglo XXI deben corresponder los resultados que se muestren en pantalla.

5.7.- DOWNSCALING (Mejora de Resolución).

Se denomina conoce downscaling, o, mejora de resolución, a la adaptación de las salidas (o resultados) de los modelos numéricos de circulación atmosférica global, a

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

escalas regionales o locales (von Storch, 1995).

Downscaling no es una técnica nueva; sin embargo, actualmente se le utiliza desde un punto de vista que es conceptualmente nuevo: derivación de la variabilidad y cambio climático a nivel local. Este nuevo downscaling surge en los años 80, como una necesidad de mejorar la resolución de los escenarios climáticos generadas por los modelos globales acoplados de atmósfera/océano (AOGCMs), a nivel local. Estos modelos de gran escala (con resoluciones mayores a 1 grado de latitud y longitud) aún no son capaces de reproducir adecuadamente las variaciones climáticas a escala regional y local. El clima regional es el resultado de las interacciones no solo de la atmósfera y el océano, sino que también es fuertemente condicionado por la topografía, el uso de suelo, etc.

5.7.1 Técnicas de Downscaling.

- Técnicas dinámicas.
- Técnicas estadísticas.

Técnicas dinámicas: Utilizan las salidas del modelo numérico global como condiciones de contorno de un modelo de mayor resolución y parametrizaciones físicas apropiadas (p.ej., el modelo sueco HIRLAM utilizado en el Instituto Nacional de Meteorología de España).

Técnicas estadísticas: Combinan las predicciones del modelo numérico global con la información estadística de mayor resolución proporcionada por los registros históricos de estaciones meteorológicas que estén disponibles en el área de interés.

Uno de los requisitos principales para realizar un downscaling estadístico es mantener la consistencia del modelo numérico operativo (del que se obtendrán las predicciones) y del modelo integrado en el re-análisis para crear la base de datos.

Esencialmente la idea del downscaling estadístico consiste en usar las relaciones observadas entre la circulación de gran escala y los climas locales, para preparar

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

modelos estadísticos que podrían traducir las anomalías del flujo de gran escala en las anomalías de algún clima local (von Storch 1995).

5.7.2.- Métodos de Downscaling.

a) Método Analógico

Quizás el esquema del downscaling más simple es el método analógico. Este método ha sido esencialmente aplicado en el campo de boletín meteorológico (Lorenz 1969; Kruizinga y Murphy 1983), y en la predicción del clima a corto plazo. Su idea es simple: la circulación atmosférica de gran escala simulada por un GCM se compara con cada una de las observaciones históricas y la más similar es escogida como su análogo. Simultáneamente observamos entonces que el tiempo local se asocia al simulado por el modelo de gran escala. Un problema pertinente asociado con este método lo constituye la necesidad de observaciones suficientemente largas. Además, para los propósitos del downscaling el método no se usa en un esquema de predicción, sino como una media para especificar un estado local coherente con un estado simulado de gran escala. La simulación de la circulación atmosférica a gran escala por los MCG es comparada con cada una de las observaciones históricas en un sentido que tiene que ser definido, esto es, escogido como su análogo. Como ya decíamos anteriormente, uno de los problemas asociado con este método lo constituye la gran cantidad de datos históricos que se necesitan.

b) Métodos Lineales

i) Las variables normalmente distribuidas.

Los modelos lineales son quizás los más populares en el contexto del downscaling. Un problema de los métodos lineales es que ellos no pueden ser usados directamente cuando las variables locales no son distribuidas normalmente.

El ejemplo más importante de las variables locales que se desvía fuertemente de la normalidad, es quizás la precipitación diaria (Zorita y Storch, 1997). Una solución a este problema puede ser una transformación de la variable local, tal que la variable

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

transformada se aproxime a una distribución Gaussiana.

ii) Métodos lineales aplicados a distribuciones estadísticas de variables locales que no están distribuidas normalmente.

c) Los Métodos de la Clasificación.

El principio general que sustenta los métodos de clasificación también es simple, aunque la aplicación práctica puede resultar bastante complicada. Un esquema de clasificación de la circulación atmosférica en el área de interés se centra en observaciones históricas distribuidas en clases definidas. El criterio de clasificación se aplica entonces a las circulaciones atmosféricas simuladas por un GCM, para que cada circulación pueda ser clasificado y pertenecer a una de las clases.

Hay muchos métodos de clasificación. Sin embargo, debe señalarse que todos los esquemas de clasificación son hasta cierto punto subjetivos.

d) Las Redes Neuronales.

Las "redes neuronales" han encontrado en los últimos años un amplio rango de aplicaciones. Las redes neuronales tienen un gran potencial en muchos contextos y también han sido aplicadas al problema del downscaling (Zorita y Storch, 1999).

5.8.- Futuros Escenarios Climáticos para el Valle de Elqui.

En los puntos anteriores se revisaron algunos escenarios que han sido generados para nuestro país a través de modelos climáticos. Vimos que los modelos climáticos son de una gran utilidad para elaborar supuestos escenarios climáticos derivados del Cambio Climático, si bien no nos dicen con exactitud como serian los escenarios, nos dan una idea de lo que pudiese acontecer en un futuro próximo. Mencionadas algunas de las ventajas que nos pudiesen dar la utilización de estos modelos, mencionamos que

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

difícilmente son representativos de nuestro clima, ya sea como cuenca, región o como país. Esto se debe fundamentalmente a la gruesa resolución de los GCM. Los modelos mencionados anteriormente poseen grillas de 5x5° (UKMO, GISS, GFDL) y 3.5x3.5° los modelos GCMX. Recordando que 1° es aproximadamente 111 km y lo angosto de nuestro país (normalmente < 2°). En la actualidad lo modelos han aumentado su resolución, la cual de todas maneras esta sobre 1° de latitud y 1° de longitud.

También se tiene que los principales aspectos que determinan el clima de nuestro país, como los son el fenómeno ENSO, la corriente de Humboldt y la cordillera de Los Andes no son bien representados o incluidos en los modelos climáticos globales, recordando que el fenómeno de El Niño todavía es un fenómeno que no se comprende plenamente.

Por estos motivos la propuesta de nuevos escenarios de Cambio Climático se basará plenamente en las oscilaciones climáticas que caracterizan nuestra cuenca.

5.8.1.- Elaboración de Escenarios.

Para la elaboración de estos escenarios me centraré en las oscilaciones climáticas que a lo largo de la historia han estado presentes en la Región. La elaboración de futuros escenarios será realizada de una forma sencilla y básicamente se centrará en la variable de precipitación. Los escenarios se realizarán en base a supuestos de lo que pudiese acontecer en un futuro próximo, estos supuesto serán respaldados con el calculo de probabilidades de la variación de las precipitaciones anuales.

Como referencia se utilizarán los registros de precipitaciones anuales y mensuales del periodo 1964-2003, a excepción de las estaciones de La Serena y Vicuña donde el registro mensual es de 1971-2003. En la tabla 5.3 se detallan las medias anuales de las precipitaciones para el periodo 1964-2003.

Tabla 5.3 Precipitaciones anuales periodo 1964-2003⁴.

Promedios anuales 1964-2003								
La Serena Vicuña Rivadavia Montegrande La Laguna								
85,21	97,86	99,86	75,86	166,74				

⁴ Se han considerado estas estaciones por dos factores, el primero es su ubicación a lo largo y ancho de la cuenca y el segundo es su data de registros, los cuales son los más antiguos y continuos en el tiempo.

⁵ Los valores mostrados consideran tanto las precipitaciones líquidas como la nieve caída en equivalencia en agua.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Luego en la figura 5.19 se muestran las precipitaciones medias mensuales para los mismos periodos 1964-2003 y 1971-2003 para las estaciones de La Serena y Vicuña, donde se aprecia claramente que las precipitaciones se concentran en los meses de mayo, junio, julio y agosto.

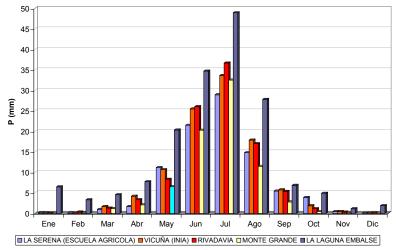


Figura 5.19 Precipitaciones medias mensuales para el periodo 1980-2003.

Sin lugar a dudas más del 50% de las precipitaciones se distribuyen en los meses de junio y julio y aproximadamente un 25 % en los meses de mayo y agosto. A continuación la tabla 5.4 muestra los promedios de precipitaciones mensuales.

Tabla 5.4 Distribución porcentual de las precipitaciones a lo largo del año, periodo de referencia 1980-2003.

	Promedios mensuales 1964-2003											
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Serena ⁶	0,1	0,1	1,0	1,7	11,1	21,5	28,9	14,8	5,4	3,9	0,4	0,0
Vicuña ⁶	0,1	0,0	1,6	4,2	10,7	25,5	33,6	17,9	5,7	1,9	0,4	0,1
Rivadavia	0,0	0,3	1,3	3,3	8,3	26,0	36,7	17,0	5,4	1,1	0,3	0,1
Montegrande	0,0	0,1	1,2	2,1	6,5	20,3	32,5	11,5	2,8	0,5	0,2	0,0
La Laguna	6,5	3,3	4,5	7,7	20,3	34,7	48,9	27,8	6,8	4,9	1,1	1,9

En la figura 5.20 se muestra el diagrama elaborado para la generación de escenarios, el cual considera tanto las precipitaciones líquidas, como sólidas e incluye variables como la Magnitud, Intensidad y el Periodo de las precipitaciones. La interacción conjunta de todas esas variables nos dará como producto final futuros escenarios climáticos en la Cuenca.

⁶ Periodo de referencia utilizado 1971-2003.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

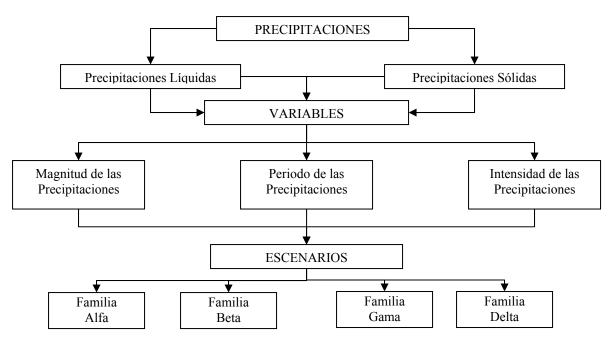


Figura 5.20 Metodología para la elaboración de escenarios. La magnitud de las precipitaciones se refiere a la cantidad de las precipitaciones anuales en mm.; La intensidad de las precipitaciones referida a la cantidad precipitada en un periodo de tiempo dado, en nuestro caso se utilizará como periodo de tiempo 1 día; y el periodo de precipitaciones se refiere principalmente a los meses en los cuales se concentra sobre el 80 % de las precipitaciones totales de un año.

5.8.2.- Descripción de los Escenarios.

En la tabla 5.5 se muestran los posibles escenarios anuales de precipitaciones pluviales como nivales⁷. Se muestra la magnitud de las precipitaciones, la frecuencia de la magnitud para los distintos escenarios, el número de meses en los cuales precipita sobre un 80% del total anual y la intensidad de la precipitación pluvial.

Tabla 5.5 Escenarios de precipitaciones y sus variables.

	Escenarios Magnitud		Periodo de Pi	recipitaciones	Intensidad	
	Anuales	Pluvial	Nival	Pluvial	Nival	Interiolada
	ES1	CAP1	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
(g	ES2	CAP1	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
Alfa	ES3	CAP1	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES4	CAP1	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
milia	ES5	CAP2	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES6	CAP2	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES7	CAP2	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F

⁷ Para el efecto de un mejor entendimiento en cuanto a magnitud de los registros de nieve caída, se trabajará con el equivalente en agua de esta nieve caída, por lo que para el sector de La Laguna, todos los valores se presentan en mm de agua.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

	ES8	CAP2	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES9	CAP3	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES10	CAP3	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES11	CAP3	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES12	CAP3	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES13	CAP4	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES14	CAP4	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES15	CAP4	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES16	CAP4	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES17	CDP0,75	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES18	CDP0,75	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES19	CDP0,75	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES20	CDP0,75	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES21	CDP 0,5	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES22	CDP 0,5	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
9	ES23	CDP 0,5	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
<u>ن</u> د	ES24	CDP 0,5	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
аВ	ES25	CDP 0,25	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
=	ES26	CDP 0,25	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
Fal	ES27	CDP 0,25	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES28	CDP 0,25	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES29	CDP 0,125		5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES30	CDP 0,125		5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES31	CDP 0,125	· ·	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES32	-	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES33	CAP1	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES34	CAP1	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES35	CAP1	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES36	CAP1	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES37	CAP2	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES38	CAP2	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
۷ (۲	ES39	CAP2	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
gama	ES40	CAP2	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES41	CAP3	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
≔	ES42	CAP3	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
Far	ES43	CAP3	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES44	CAP3	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES45	CAP4	CDP0,75	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES46	CAP4	CDP 0,5	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES47	CAP4	CDP 0,25	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES48	CAP4	CDP 0,125	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
	ES49	CDP0,75	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
<u>≣</u> a	ES50	CDP 0,5	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
בייט	ES51	CDP 0,25	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
$^{\perp}$ \sim	ES52	CDP 0,23	CAP1	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

r					
ES53	CDP0,75	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES54	CDP 0,5	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES55	CDP 0,25	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES56	CDP 0,125	CAP2	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES57	CDP0,75	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES58	CDP 0,5	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES59	CDP 0,25	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES60	CDP 0,125	CAP3	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES61	CDP0,75	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES62	CDP 0,5	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES63	CDP 0,25	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F
ES64	CDP 0,125	CAP4	5-4-3-2	5-4-3-2	L-M-F

A continuación se detalla en forma más específica las variables mencionadas anteriormente.

Magnitud: Esta variable se refiere a la cantidad de precipitación, ya sea líquida o sólida que caería en un escenario determinado. Se ha estimado esta magnitud en base a la media de las precipitaciones líquidas y sólidas (equivalente en agua) tablas 5.6 y 5.7.

Tabla 5.6 Magnitud de las precipitaciones para el caso de un aumento de estas.

	CASOS DE AUMENTO DE PRECIPITACIONES (CAP)								
Estación	Precipitación media	CAP1 1*Pmed	CS2 2*Pmed	CS3 3*Pmed	CS4 4*Pmed				
La Serena	85,21	85,21	170,42	255,63	340,84				
Vicuña	97,86	97,86	195,72	293,58	391,44				
Rivadavia	99,86	99,86	199,72	299,58	399,44				
Montegrande	75,86	75,86	151,72	227,58	303,44				
La Laguna	166,74	75,86	333,48	500,22	666,96				

Tabla 5.7 Magnitud de las precipitaciones para el caso de una disminución de estas.

1 4 5 14 6 1 1 1 1 4 5 1	Tubil of Magnitud do las prodiptiaciones para el caso de una distinitación de estas.								
CASOS DE DEFICIT DE PRECIPITACIONES (CDP)									
Estación Precipitación CDP 0,75 CDP 0,5 CDP 0,25 CDP 0,125 Pmed Pmed Pmed									
La Serena	85,21	63,91	42,61	21,30	10,65				

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Vicuña	97,86	73,40	48,93	24,47	12,23
Rivadavia	99,86	74,90	49,93	24,97	12,48
Montegrande	75,86	56,90	37,93	18,97	9,48
La Laguna	166,74	125,06	83,37	41,69	20,84

Periodo de Precipitaciones: Este periodo se refiere a la cantidad de meses en los cuales se distribuye el 80 % de las precipitaciones, para los fines de esos escenarios se considera un máximo de 5 meses y un mínimo de dos.

Intensidad: Esta variable esta referida a la cantidad de agua caída durante un día, la cual se ha catalogado en Leve (L), Moderada (M) y Fuerte (F) según los valores que se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Clasificación de la intensidad de las precipitaciones.

Clasificación	Intensidad (mm/día)
Leve	I<10
Moderada	10 <i<20< td=""></i<20<>
Fuerte	I>20

Se han mencionado solamente 64 escenarios referidos a las precipitaciones, los cuales se pueden catalogar o agrupar en cuatro tipos o familias, cada una con 16 escenarios anuales. Los escenarios han sido agrupados de acuerdo a una tendencia común la cual seria del tipo de aumento de precipitaciones, ya sea tanto pluviales como nivales, la de disminución de precipitaciones pluviales y nivales, las de aumento de precipitaciones pluviales y descenso de precipitaciones nivales y finalmente las de una disminución de las precipitaciones pluviales y un aumento de las precipitaciones nivales.

Hay que mencionar además que dentro de estos escenarios de precipitaciones anuales las variables, "periodo e intensidad de las precipitaciones" juegan un rol muy importante. La primera ya que en el caso de que el 80% de la precipitación anual se concentre solamente en dos o tres meses y dependiendo de la magnitud, aumentarán las probabilidades de tener grandes intensidades de precipitaciones, a diferencia de que si las precipitaciones se distribuyeran en cuatro a cinco meses, además

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

aumentarían o disminuirían los meses secos. La intensidad de las precipitaciones tal como se vio en el capítulo IV puede causar serios daños en la Región.

También se puede generar un número mayor de escenarios al considerar directamente estas variables e interactuarlas con cada una de las magnitudes de precipitaciones pero creemos que no es necesario abarcar en forma tan específica estos casos, los cuales se abarcaran de acuerdo a cada familia de escenarios.

Como se ha visto se ha generado un gran número de escenarios de precipitaciones y sin duda que los escenarios anuales no serán los causantes de los mayores impactos en la cuenca, sino la alternación de estos escenarios serán los que causen los mayores impactos.

Debido a la gran cantidad de escenarios solamente se trabajará con las familias de escenarios (Alfa, Beta, Gama y Delta), para las cuales se determinarán los mayores impactos asociados a cada familia.

5.8.3.- Cálculo de la Probabilidad de las Precipitaciones y Periodo de Retorno.(Referencia Curso de Hidrología ULS)

El cálculo de esta probabilidad se realizará en base a los registros históricos que se mencionaron en el punto anterior.

Para realizar este cálculo se han utilizado métodos estadísticos con el fin de ajustar los datos a una función de distribución conocida, y se ha utilizado la prueba de Kolmogorov-Smirnov para su validación.

En el caso de las precipitaciones anuales estas han sido ajustadas tanto a una distribución Normal y a una distribución Gama.

Donde la función de densidad de probabilidad f(x) para la distribución Normal es:

(Ecuación 5.1)
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \forall x \in \Re$$

Donde:

$$E[x] = \mu$$
 $Var[x] = \sigma^2$

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Mientras que la función de densidad de probabilidad f(y) para una distribución Gama es:

(Ecuación 5.2)
$$f(y) = \frac{y \alpha - 1_e - y / \beta}{\beta \alpha \psi(\rho)} \qquad \alpha, \beta, y > 0$$

En donde:

(Ecuación 5.3)
$$\psi(\rho) = \int_0^\infty t^{\rho - 1} e^{-\rho} dt$$

$$E[y] = \alpha^* y \quad \text{Var}[x] = \alpha^* y^2$$

Para validar estas funciones por la prueba de Kolmogorov-Smirnov se han propuestos dos hipótesis, la primera, la hipótesis nula o cero y la segunda la hipótesis uno.

a) Validación de los datos para una distribución Normal.

H₀: Los datos de precipitaciones se comportan como una distribución Normal. $(F_0(x) = F_n(x))$

H₁: Los datos de precipitaciones **no** se comportan como una distribución Normal. $(F_0(x) \neq F_n(x))$

b) Validación de los datos para una distribución Gama.

H₀: Los datos de precipitaciones se comportan como una distribución Gama. $(F_0(x) = F_n(x))$

H₁: Los datos de precipitaciones **no** se comportan como una distribución Gama ($F_0(x) \neq F_n(x)$)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Donde la estadística de prueba esta dada por:

(Ecuación 5.4)
$$K-S_{calc} = max | F_0(x) - F_n(x) |$$

El valor resultante es contrastado con el K-S tabulado, el cual para nuestro caso posee (N=40) valores de 0,21 con un nivel de confianza de 95% y 0,19 con un nivel de confianza de un 99%.

Entonces nuestra hipótesis nula es aceptada si KS_{calc} < K-S_{tab}, de lo contrario es rechazada.

A continuación se muestran los resultados de los ajustes realizados para las precipitaciones anuales de las distintas estaciones, los cálculos completos se muestran en el Anexo 5.2.

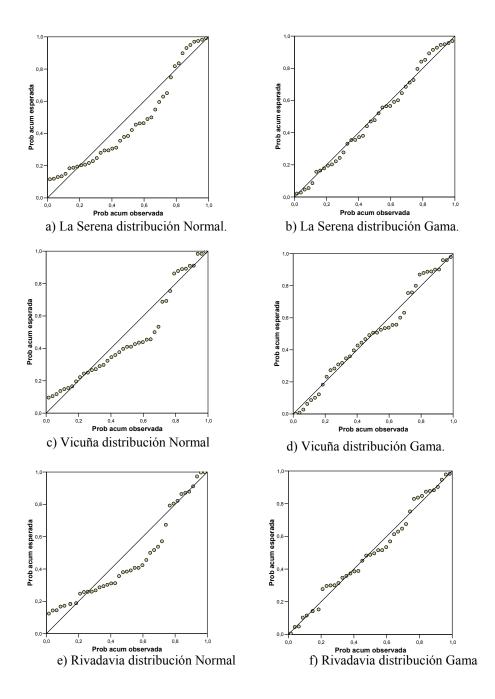
Tabla 5.9 Valores del estadístico calculado de Kolmogorov-Smirnov.

	Distribuc	ión Normal	Distribución Gama				
Estación	$K-S_{calc} = Max \mid F_0(x) - F_n(x) \mid$		K-S _{calc} = Max	$F_0(x) - F_n(x)$			
La Serena	0,1507		0,0570				
Vicuña	0,1	1626	0,0	0614			
Rivadavia	0,1	1404	0,0468				
Montegrande	0,1	1158	0,0371				
La Laguna	0,1	1206	0,0517				
$K-S_{tab}(n=40 \alpha=5\%) = 0.21$							
	K	X-S _{tab} (n=40 α=1%)	= 0,19				

De los resultados mostrados en la tabla anterior obtenemos que; los datos de precipitaciones se puede ajustar a las dos distribuciones mencionadas, ya que se ha aceptado nuestra hipótesis nula ($KS_{calc} < K-S_{tab}$) para los distintos niveles de alfa. Pero se puede deducir que los datos se ajustan de una mejor manera a la distribución Gama, debido principalmente a que las diferencias son mucho menores.

A continuación en la figura 5.21 se muestran los gráficos de probabilidad esperada versus probabilidad acumulada.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.



[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

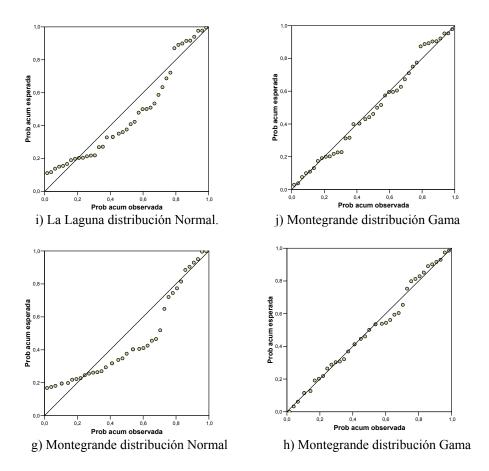


Figura 5.21 Gráficos de probabilidad acumulada esperada y probabilidad acumulada observada para los datos de precipitaciones anuales de las estaciones de La Serena, Vicuña, Rivadavia, Montegrande y La Laguna y las distribuciones Normal y Gama.

De los gráficos también se deduce que los datos se ajustan mucho mejor a una distribución Gama, por lo que solamente se trabajará con esta distribución.

Por lo tanto se puede decir que las precipitaciones se comportan como una distribución de probabilidades Gama de parámetros α , γ . En la tabla 5.10 se detalla los parámetros α e γ para cada distribución.

Tabla 5.10 Valores de α y γ para las distribuciones Gama.

Estación	α	γ
La Serena	1,669	51,063
Vicuña	1,698	57,622
Rivadavia	1,353	73,815
Montegrande	0,924	82,138
La Laguna	1,895	87,989

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Las probabilidades de variación de las precipitaciones, ya sea tanto disminución y de un aumento de estas, se muestran en las tablas 5.11 y 5.12.

Tabla 5.11 Probabilidad de que las precipitaciones disminuyan.

Estación	P(p <pmed)< th=""><th>P(p<0,75*pmed)</th><th>P(p<0,5*pmed)</th><th>P(p<0,25*pmed)</th><th>P(p<0,125*pmed)</th></pmed)<>	P(p<0,75*pmed)	P(p<0,5*pmed)	P(p<0,25*pmed)	P(p<0,125*pmed)
La Serena	60.3%	46,5%	29,8%	12,0%	4,3%
Vicuña	60.2%	46,3%	29,5%	11,7%	4,1%
Rivadavia	61.4%	49,1%	33,7%	15,8%	6,8%
Montegrande	63.7%	53,7%	40,8%	23,9%	13,3%
La Laguna	59.7%	44,9%	27,4%	9,9%	3,1%

Tabla 5.12 Probabilidad de que las precipitaciones aumenten.

Estación	P(p>pmed)	P(p>2*pmed)	P(p>3*pmed)	P(p>4*pmed)
La Serena	39,7%	10,4%	2,5%	0,5%
Vicuña	39,8%	10,3%	2,4%	0,5%
Rivadavia	38,6%	11,8%	3,4%	1,0%
Montegrande	36,3%	13,9%	5,4%	2,1%
La Laguna	40,3%	9,5%	1,9%	0,4%

Recordando que los datos utilizados para realizar este análisis estadístico son de 1964 hasta 2003, periodo en el cual se han tenido grandes sequías y también grandes precipitaciones, principalmente en los últimos veinte años, por lo cual se destaca, que las probabilidades calculadas para una disminución de las precipitaciones sean mayores que para un aumento de estas. Lo cual concuerda con la disminución que han tenido las precipitaciones.

En la tabla 5.13 se muestran los periodos de retorno calculados para las precipitaciones, al igual que las probabilidades estas se comportan de una manera similar para toda la cuenca, destacándose, una diferencia en las probabilidades y periodos de retorno obtenidas para Montegrande.

Tabla 5.13 Periodo de retorno para distintos valores de disminución de las precipitaciones.

Estación	T años (p <pmed)< th=""><th>T años (p<0,75*pmed)</th><th>T años (p<0,5*pmed)</th><th>T años (p<0,25pmed)</th><th>T años (p<0,125*pmed)</th></pmed)<>	T años (p<0,75*pmed)	T años (p<0,5*pmed)	T años (p<0,25pmed)	T años (p<0,125*pmed)
La Serena 1,66		2,15	3,36	8,37	23,45
Vicuña	1,66	2,16	3,39	8,58	24,47
Rivadavia	1,63	2,04	2,97	6,32	14,69
Montegrande	1,57	1,86	2,45	4,19	7,53
La Laguna	1,67	2,23	3,65	10,15	32,50

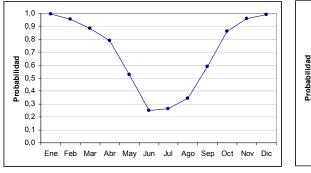
[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 5.14 Periodo de retorno para di	stintos valores de aumer	nto de las precipitaciones.
--	--------------------------	-----------------------------

Estación	T años (p>pmed)	T años (p>2*pmed)	T años (p>3*pmed)	T años (p>4*pmed)
La Serena	2,52	9,58	40,78	183,44
Vicuña	2,51	9,69	42,06	193,40
Rivadavia	2,59	8,46	29,22	103,81
Montegrande	2,76	7,19	18,52	47,46
La Laguna	2,48	10,48	51,67	274,83

De la misma forma que se han analizado los datos de precipitaciones anuales, se analizaron los de precipitaciones mensuales para la estación de Rivadavia. Estos datos se han ajustado a una distribución Gama de parámetros alfa y beta.

Las estimaciones realizadas, están enfocadas a las sequías meteorológicas mensuales, para lo cual se han calculado las probabilidades de que las precipitaciones sean despreciables menores que 2 y 5mm (figura 5.21).



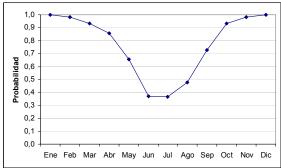


Figura 5.22 Probabilidad de que las precipitaciones mensuales sean menores que 2 y 5 mm (izquierda y derecha respectivamente).

Luego utilizando la metodología propuesta por Fernández y Montt (2001), se ha estimado la probabilidad de tener, de uno a seis meses consecutivos con precipitaciones menores a 2 y 5 mm para la estación de Rivadavia (tablas 5.15 y 5.16)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 5.15 Probabilidad de que las precipitaciones sean menores que 2 mm por un periodo de uno a seis meses consecutivos.

		Número	de meses con	secutivos co	n precipitacio	ones menores	s a 2 mm.
Mes	P(p<2mm)	1	2	3	4	5	6
Ene	0,9967	0,9967	0,9866	0,9459	0,8134	0,4782	0,1652
Feb	0,9555	0,9555	0,9523	0,9426	0,9037	0,7772	0,4569
Mar	0,8850	0,8850	0,8456	0,8428	0,8342	0,7998	0,6878
Abr	0,7911	0,7911	0,7001	0,6689	0,6667	0,6599	0,6327
May	0,5257	0,5257	0,4159	0,3680	0,3517	0,3505	0,3469
Jun	0,2495	0,2495	0,1312	0,1038	0,0918	0,0877	0,0874
Jul	0,2636	0,2636	0,0658	0,0346	0,0273	0,0242	0,0231
Ago	0,3455	0,3455	0,0911	0,0227	0,0119	0,0094	0,0084
Sep	0,5879	0,5879	0,2031	0,0535	0,0134	0,0070	0,0056
Oct	0,8600	0,8600	0,5056	0,1747	0,0460	0,0115	0,0060
Nov	0,9587	0,9587	0,8245	0,4847	0,1675	0,0441	0,0110
Dic	0,9899	0,9899	0,9490	0,8161	0,4798	0,1658	0,0437

Tabla 5.16 Probabilidad de que las precipitaciones sean menores que 5 mm por un periodo de uno a seis meses consecutivos.

		Número d	e meses cons	ecutivos con	precipitacio	nes menores	que 5 mm.
Mes	P(p<5mm)	1	2	3	4	5	6
Ene	0,9998	0,9998	0,9977	0,9801	0,9149	0,6657	0,3185
Feb	0,9814	0,9814	0,9812	0,9792	0,9619	0,8979	0,6534
Mar	0,9329	0,9329	0,9156	0,9154	0,9135	0,8974	0,8377
Abr	0,8591	0,8591	0,8015	0,7865	0,7864	0,7848	0,7709
May	0,6580	0,6580	0,5653	0,5274	0,5176	0,5174	0,5164
Jun	0,3689	0,3689	0,2428	0,2085	0,1946	0,1909	0,1909
Jul	0,3671	0,3671	0,1354	0,0891	0,0766	0,0714	0,0701
Ago	0,4784	0,4784	0,1756	0,0648	0,0426	0,0366	0,0342
Sep	0,7276	0,7276	0,3481	0,1278	0,0471	0,0310	0,0266
Oct	0,9335	0,9335	0,6793	0,3250	0,1193	0,0440	0,0290
Nov	0,9823	0,9823	0,9170	0,6673	0,3192	0,1172	0,0432
Dic	0,9980	0,9980	0,9803	0,9152	0,6659	0,3186	0,1169

Tomando como ejemplo el valor obtenido del mes de octubre y un número de cuatro meses consecutivos de precipitaciones (tabla 5.16), que posee una probabilidad de 0,1193 la interpretación de los valores de las tablas 5.15 y 5.16 es de que en un mes de octubre cualquiera se observe una sucesión de cuatro meses seguidos con precipitaciones menores a 5 mm, es decir, que los meses de agosto, septiembre y octubre constituyan una sequía de cuatro meses de duración.

Las probabilidades muestran el comportamiento mensual, el cual se ve reflejado por altas probabilidades de que en los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

y diciembre, no se sobrepasen los 2 y 5 mm de precipitaciones. En contraparte los meses que se caracterizan por ser los que concentran las mayores precipitaciones (junio, julio) no muestran probabilidades muy bajas.

En las probabilidades de los meses consecutivos de precipitaciones menores a 2 mm, las probabilidades más bajas se concentran en los periodos que abarcan uno o varios de los meses de mayo, junio, julio y agosto, lo cual es coherente con los registros históricos de precipitaciones.

Finalmente en las tablas 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 se muestran las probabilidades de tener hasta 24 meses con precipitaciones menores que 2, 5, 10 y 20 mm.

Tabla 5.17 Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 2 mm/mes por un periodo de hasta 24 meses.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P(p<2mm)	0,9967	0,9555	0,8850	0,7911	0,5257	0,2495	0,2636	0,3455	0,5879	0,8600	0,9587	0,9899
1	0,9967	0,9555	0,8850	0,7911	0,5257	0,2495	0,2636	0,3455	0,5879	0,8600	0,9587	0,9899
2	0,9866	0,9523	0,8456	0,7001	0,4159	0,1312	0,0658	0,0911	0,2031	0,5056	0,8245	0,9490
3	0,9459	0,9426	0,8428	0,6689	0,3680	0,1038	0,0346	0,0227	0,0535	0,1747	0,4847	0,8161
4	0,8134	0,9037	0,8342	0,6667	0,3517	0,0918	0,0273	0,0119	0,0134	0,0460	0,1675	0,4798
5	0,4782	0,7772	0,7998	0,6599	0,3505	0,0877	0,0242	0,0094	0,0070	0,0115	0,0441	0,1658
6	0,1652	0,4569	0,6878	0,6327	0,3469	0,0874	0,0231	0,0084	0,0056	0,0060	0,0110	0,0437
7	0,0435	0,1579	0,4043	0,5441	0,3326	0,0866	0,0230	0,0080	0,0049	0,0048	0,0058	0,0109
8	0,0109	0,0416	0,1397	0,3199	0,2860	0,0830	0,0228	0,0080	0,0047	0,0042	0,0046	0,0057
9	0,0057	0,0104	0,0368	0,1105	0,1682	0,0714	0,0219	0,0079	0,0047	0,0040	0,0041	0,0045
10	0,0045	0,0055	0,0092	0,0291	0,0581	0,0420	0,0188	0,0076	0,0046	0,0040	0,0039	0,0040
11	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
12	0,0038	0,0037	0,0034	0,0030	0,0020	0,0010	0,0010	0,0013	0,0022	0,0033	0,0037	0,0038
13	0,0036	0,0032	0,0027	0,0016	0,0005	0,0003	0,0003	0,0008	0,0019	0,0032	0,0036	0,0038
14	0,0032	0,0026	0,0014	0,0004	0,0001	0,0001	0,0002	0,0007	0,0019	0,0031	0,0036	0,0036
15	0,0025	0,0013	0,0004	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002	0,0006	0,0018	0,0031	0,0035	0,0032
16	0,0013	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0006	0,0018	0,0030	0,0031	0,0025
17	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0006	0,0017	0,0026	0,0024	0,0013
18	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0006	0,0015	0,0021	0,0013	0,0003
19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0005	0,0012	0,0011	0,0003	0,0001
20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0004	0,0006	0,0003	0,0001	0,0000
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000
22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 5.18 Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 5 mm/mes por un periodo de hasta 24 meses.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P(p<5mm)	0,9998	0,9814	0,9329	0,8591	0,6580	0,3689	0,3671	0,4784	0,7276	0,9335	0,9823	0,9980
1	0,9998	0,9814	0,9329	0,8591	0,6580	0,3689	0,3671	0,4784	0,7276	0,9335	0,9823	0,9980
2	0,9977	0,9812	0,9156	0,8015	0,5653	0,2428	0,1354	0,1756	0,3481	0,6793	0,9170	0,9803
3	0,9801	0,9792	0,9154	0,7865	0,5274	0,2085	0,0891	0,0648	0,1278	0,3250	0,6673	0,9152
4	0,9149	0,9619	0,9135	0,7864	0,5176	0,1946	0,0766	0,0426	0,0471	0,1193	0,3192	0,6659
5	0,6657	0,8979	0,8974	0,7848	0,5174	0,1909	0,0714	0,0366	0,0310	0,0440	0,1172	0,3186
6	0,3185	0,6534	0,8377	0,7709	0,5164	0,1909	0,0701	0,0342	0,0266	0,0290	0,0432	0,1169
7	0,1169	0,3126	0,6095	0,7196	0,5073	0,1905	0,0701	0,0335	0,0249	0,0249	0,0284	0,0431
8	0,0431	0,1147	0,2916	0,5236	0,4735	0,1871	0,0699	0,0335	0,0244	0,0232	0,0244	0,0284
9	0,0284	0,0423	0,1070	0,2505	0,3446	0,1747	0,0687	0,0335	0,0244	0,0228	0,0228	0,0244
10	0,0244	0,0279	0,0395	0,0920	0,1648	0,1271	0,0641	0,0329	0,0243	0,0228	0,0224	0,0228
11	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223
12	0,0223	0,0219	0,0208	0,0192	0,0147	0,0082	0,0082	0,0107	0,0162	0,0208	0,0219	0,0223
13	0,0219	0,0204	0,0179	0,0126	0,0054	0,0030	0,0039	0,0078	0,0152	0,0205	0,0219	0,0223
14	0,0204	0,0176	0,0118	0,0047	0,0020	0,0014	0,0029	0,0073	0,0149	0,0204	0,0219	0,0219
15	0,0176	0,0116	0,0043	0,0017	0,0010	0,0011	0,0027	0,0071	0,0149	0,0204	0,0215	0,0204
16	0,0116	0,0043	0,0016	0,0008	0,0007	0,0010	0,0026	0,0071	0,0149	0,0200	0,0200	0,0175
17	0,0043	0,0016	0,0008	0,0006	0,0006	0,0010	0,0026	0,0071	0,0146	0,0187	0,0172	0,0115
18	0,0016	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0010	0,0026	0,0070	0,0136	0,0161	0,0113	0,0043
19	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0010	0,0026	0,0065	0,0117	0,0106	0,0042	0,0016
20	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0009	0,0024	0,0056	0,0077	0,0039	0,0015	0,0007
21	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0009	0,0021	0,0037	0,0028	0,0014	0,0007	0,0005
22	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0008	0,0014	0,0014	0,0010	0,0007	0,0005	0,0005
23	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
24	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005

Tabla 5.19 Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 10 mm/mes por un periodo de hasta 24 meses.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P(p<10mm)	1,0000	0,9937	0,9628	0,9086	0,7672	0,4893	0,4683	0,6027	0,8353	0,9737	0,9938	0,9998
1	1,0000	0,9937	0,9628	0,9086	0,7672	0,4893	0,4683	0,6027	0,8353	0,9737	0,9938	0,9998
2	0,9998	0,9937	0,9568	0,8749	0,6971	0,3754	0,2291	0,2822	0,5034	0,8133	0,9677	0,9936
3	0,9936	0,9935	0,9568	0,8694	0,6712	0,3411	0,1758	0,1381	0,2357	0,4902	0,8083	0,9675
4	0,9675	0,9873	0,9566	0,8694	0,6670	0,3284	0,1597	0,1059	0,1153	0,2295	0,4871	0,8081
5	0,8081	0,9614	0,9506	0,8692	0,6670	0,3263	0,1538	0,0963	0,0885	0,1123	0,2281	0,4870
6	0,4870	0,8030	0,9257	0,8638	0,6668	0,3263	0,1528	0,0927	0,0804	0,0862	0,1116	0,2281
7	0,2281	0,4840	0,7732	0,8411	0,6627	0,3263	0,1528	0,0921	0,0774	0,0783	0,0856	0,1116
8	0,1116	0,2266	0,4660	0,7026	0,6453	0,3242	0,1528	0,0921	0,0769	0,0754	0,0778	0,0856
9	0,0856	0,1109	0,2182	0,4234	0,5390	0,3157	0,1518	0,0921	0,0769	0,0749	0,0749	0,0778
10	0,0778	0,0851	0,1068	0,1983	0,3249	0,2637	0,1478	0,0915	0,0769	0,0749	0,0744	0,0749
11	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744	0,0744

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

12	0,0744	0,0740	0,0717	0,0676	0,0571	0,0364	0,0349	0,0449	0,0622	0,0725	0,0740	0,0744
13	0,0740	0,0712	0,0651	0,0519	0,0279	0,0171	0,0210	0,0375	0,0605	0,0720	0,0739	0,0744
14	0,0712	0,0647	0,0500	0,0254	0,0131	0,0103	0,0175	0,0365	0,0602	0,0720	0,0739	0,0739
15	0,0647	0,0496	0,0244	0,0119	0,0079	0,0086	0,0171	0,0363	0,0601	0,0720	0,0735	0,0712
16	0,0496	0,0243	0,0114	0,0072	0,0066	0,0084	0,0170	0,0362	0,0601	0,0716	0,0708	0,0647
17	0,0243	0,0114	0,0069	0,0060	0,0064	0,0083	0,0170	0,0362	0,0598	0,0689	0,0643	0,0496
18	0,0114	0,0069	0,0058	0,0058	0,0064	0,0083	0,0170	0,0360	0,0575	0,0626	0,0493	0,0243
19	0,0069	0,0057	0,0056	0,0058	0,0064	0,0083	0,0169	0,0347	0,0523	0,0480	0,0241	0,0114
20	0,0057	0,0056	0,0056	0,0058	0,0064	0,0083	0,0162	0,0315	0,0401	0,0235	0,0113	0,0069
21	0,0056	0,0055	0,0056	0,0058	0,0063	0,0079	0,0148	0,0242	0,0196	0,0110	0,0068	0,0057
22	0,0055	0,0055	0,0056	0,0058	0,0061	0,0072	0,0113	0,0118	0,0092	0,0066	0,0057	0,0056
23	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055
24	0,0055	0,0055	0,0053	0,0050	0,0043	0,0027	0,0026	0,0033	0,0046	0,0054	0,0055	0,0055

Tabla 5.20 Probabilidades de que se tengan precipitaciones menores a 20 mm/mes por un periodo de hasta 24 meses.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P(p<20mm)	1,0000	0,9990	0,9849	0,9517	0,8715	0,6338	0,5898	0,7399	0,9262	0,9943	0,9989	1,0000
1	1,0000	0,9990	0,9849	0,9517	0,8715	0,6338	0,5898	0,7399	0,9262	0,9943	0,9989	1,0000
2	1,0000	0,9990	0,9838	0,9372	0,8294	0,5524	0,3738	0,4364	0,6853	0,9209	0,9932	0,9989
3	0,9989	0,9990	0,9838	0,9363	0,8168	0,5257	0,3258	0,2766	0,4042	0,6814	0,9199	0,9932
4	0,9932	0,9978	0,9838	0,9363	0,8160	0,5177	0,3101	0,2411	0,2562	0,4019	0,6807	0,9199
5	0,9199	0,9922	0,9827	0,9363	0,8160	0,5172	0,3054	0,2294	0,2233	0,2547	0,4015	0,6807
6	0,6807	0,9189	0,9772	0,9352	0,8160	0,5172	0,3050	0,2259	0,2125	0,2220	0,2545	0,4015
7	0,4015	0,6799	0,9050	0,9299	0,8151	0,5172	0,3050	0,2257	0,2093	0,2113	0,2218	0,2544
8	0,2544	0,4010	0,6696	0,8612	0,8105	0,5166	0,3050	0,2257	0,2090	0,2081	0,2110	0,2218
9	0,2218	0,2542	0,3950	0,6373	0,7506	0,5137	0,3047	0,2257	0,2090	0,2079	0,2078	0,2110
10	0,2110	0,2215	0,2503	0,3759	0,5554	0,4758	0,3030	0,2255	0,2090	0,2079	0,2076	0,2078
11	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076	0,2076
12	0,2076	0,2074	0,2045	0,1976	0,1810	0,1316	0,1225	0,1536	0,1923	0,2065	0,2074	0,2076
13	0,2074	0,2043	0,1946	0,1722	0,1147	0,0776	0,0906	0,1423	0,1912	0,2062	0,2074	0,2076
14	0,2043	0,1944	0,1696	0,1092	0,0676	0,0574	0,0839	0,1415	0,1910	0,2062	0,2074	0,2074
15	0,1944	0,1694	0,1075	0,0644	0,0501	0,0532	0,0834	0,1413	0,1910	0,2062	0,2072	0,2043
16	0,1694	0,1074	0,0634	0,0476	0,0464	0,0529	0,0834	0,1413	0,1910	0,2060	0,2040	0,1944
17	0,1074	0,0633	0,0469	0,0441	0,0461	0,0528	0,0834	0,1413	0,1908	0,2029	0,1942	0,1694
18	0,0633	0,0469	0,0434	0,0439	0,0460	0,0528	0,0834	0,1412	0,1879	0,1931	0,1692	0,1074
19	0,0469	0,0434	0,0432	0,0438	0,0460	0,0528	0,0833	0,1390	0,1788	0,1683	0,1073	0,0633
20	0,0434	0,0432	0,0432	0,0438	0,0460	0,0528	0,0820	0,1323	0,1558	0,1067	0,0633	0,0469
21	0,0432	0,0431	0,0432	0,0438	0,0460	0,0520	0,0780	0,1153	0,0988	0,0629	0,0468	0,0434
22	0,0431	0,0431	0,0432	0,0438	0,0453	0,0495	0,0680	0,0731	0,0583	0,0465	0,0434	0,0432
23	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431	0,0431
24	0,0431	0,0431	0,0425	0,0410	0,0376	0,0273	0,0254	0,0319	0,0399	0,0429	0,0431	0,0431

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO VI

"Vulnerabilidades, Impactos y Capacidad de Adaptación"

Vulnerabilidad es el grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad y los extremos del clima. La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación en que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación, donde la capacidad de adaptación: es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias (IPCC, 2001).

6.1.- Caracterización de las Vulnerabilidades.

Como se ha mencionado anteriormente se han descartado los escenarios de cambio climático generados por los MCG para la cuarta Región, por lo que las vulnerabilidades se caracterizarán de acuerdo a las oscilaciones climáticas, donde los extremos de estas oscilaciones están dados por años con abundantes precipitaciones y otros años con escasas precipitaciones (seguías).

A continuación se detallan las principales tipos de vulnerabilidades a eventos climáticos detectadas durante este estudio:

Vulnerabilidades Físicas: Estas se refieren a la localización de la población en zonas de riesgo físico, no solamente esta enfocada a la ubicación de las viviendas sino también a todo lugar físico que tenga relación directa con las actividades humanas que se realizan en forma cotidiana. Este tipo de vulnerabilidades se caracteriza principalmente por presentarse en variados tipos de actividades (incluyendo vivienda). Esta vulnerabilidad es creada

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

principalmente por el hombre, debido a la construcción de viviendas o el desarrollo de actividades en sectores que presentan un riesgo visible. Dentro de las principales vulnerabilidades físicas detectadas se encuentra la construcción de viviendas en sectores de desembocadura directa de quebradas, construcción de viviendas en laderas de alta pendiente (caso de algunas viviendas en Paihuano) y la construcción a orillas del río, donde no se ha considerado la posibilidad de crecidas de éste. Dentro de estas vulnerabilidades se encuentran los caminos interiores, que son sumamente vulnerables a bajadas de quebradas.

- Vulnerabilidades Económicas: Esta vulnerabilidad se refiere a las condiciones económicas de las personas, la cual puede aumentar o disminuir los riesgos de desastres. Se caracteriza por ser de una mayor magnitud en sectores pobres, los cuales no poseen suficientes recursos para prevenir o sobrellevar, de una mejor forma los efectos causados por desastres. Se puede considerar este tipo de vulnerabilidad como fundamental al momento de tratar de reducir otras vulnerabilidades, debido que al poseer más recursos se pueden disminuir en una gran medida las vulnerabilidades físicas.
- ❖ Vulnerabilidad Hídrica: Se refiere principalmente a la capacidad de disponer en forma adecuada y en un determinado momento de este recurso.
- Vulnerabilidad Agrícola: Enfocada principalmente al monocultivo que se ha producido en algunos sectores del Valle de Elqui. Especialmente los cultivos de vides y en este último tiempo los cultivos de paltos.

Tabla 6.1 Principales vulnerabilidades detectadas.

	Vulnerabilidades											
Sector		Físicas	Agrícolas	Económicas	Hídricas							
Estero Derecho.	*	Bajadas de quebradas. Derrumbes. Aluviones. Crecidas del río Elqui.	empresas. Nevadas, que afectan a los cultivos	❖ Falta de Recursos para enfrentar y sobreponerse a	 Escasez de Agua, no se posee ningún embalse para amortiguar las posibles sequías. Contaminación. 							

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Diaguitas-Peralillo	* * * * * * * * * * * * * * * * * * *	Bajadas de quebradas. Derrumbes. Aluviones. Crecidas del río Elqui.	empresas.	Falta de Recursos para enfrentar y sobreponerse a todo tipo de eventos climáticos.
Marquesa- El	* * * * * * * * * * * * * * * * * * *	Bajadas de quebradas. Derrumbes. Aluviones. Crecidas del río Elqui.	Monocultivos por parte de las grandes empresas.	

Nota: Las vulnerabilidades físicas están relacionadas a fenómenos acontecidos principalmente en periodos de intensas precipitaciones.

6.2.- Escenarios de Precipitaciones y sus Impactos.

Los escenarios de precipitaciones a utilizar en este punto son los desarrollados en el capítulo anterior, para analizar sus posibles impactos estos escenarios serán analizados por su tipo o familia, recordando que se han definido cuatro familias o tipos (familia Alfa, Beta, Gama y Delta). A continuación se procede en cada uno de los escenarios agrupados por familias, identificar los causantes de los principales impactos que se producirían.

Familia Alfa: Este grupo de escenarios propone un aumento, tanto de las precipitaciones pluviales como nivales, las magnitudes para este escenario considera que las precipitaciones se mantenga iguales al promedio de referencia calculado y que ambas precipitaciones aumenten en un 200, 300 y 400 por ciento del promedio de referencia. A estas magnitudes se le ha calculado una probabilidad y un periodo de retorno en base a los datos históricos (tablas 5.12 y 5.14).

Los impactos de estos escenarios no dependen solamente del aumento de las precipitaciones, sino que, también de otros factores como son la intensidad y el número de días que se tenga precipitaciones de manera continuada. Donde también el periodo en que se distribuyan las precipitaciones juega un rol importante, ya que si estas se concentran en un periodo corto, existe una mayor probabilidad de que se presenten precipitaciones con grandes intensidades, esta probabilidad disminuye si este periodo es más largo. A su vez, aumentan o disminuyen los meses secos afectando en forma

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

directa al sector de secano.

Los peores escenarios que se pudiesen presentar en esta familia son los periodos cortos e intensos en cuanto a precipitaciones. A continuación se mencionan los principales eventos relacionados a estos escenarios y los impactos que pudiesen causar.

- ❖ Bajadas de quebradas: Las cuales se producen principalmente por la gran cantidad de agua caída durante un día, en los casos estudiados anteriormente las precipitaciones fueron de magnitudes de 20 a 30 mm. durante el día y probablemente esta cantidad de agua cayó solamente en horas (no se cuenta con la información de horas de precipitación, solamente con la precipitación diaria). Como referencia se calculó el agua caída sobre una quebrada de una superficie de 700 km² (un poco mayor que quebrada marquesa) con una intensidad de 20 mm./día, como resultado de este ejercicio se obtuvo que caen 14 millones de m³ durante ese día, obviamente que la cantidad de agua que escurre en forma superficial es menor. Este mismo ejercicio en una quebrada más pequeña (5 km²) y con la misma intensidad daría como resultado 100 mil m³ de aqua.
- Crecida del río Elqui, en estas crecidas es muy importante el aporte que hacen las numerosas quebradas existentes en la cuenca.
- Procesos de remoción en masa.

Impactos.

- ❖ Destrucción parcial o total de viviendas, estos impactos se deberían principalmente a bajadas de quebradas, aluviones y rodados, sin duda el área más vulnerables es la de Paihuano, específicamente las viviendas que se encuentran construidas en las laderas de los cerros que poseen grandes pendientes (al lado del camino).
- Inundación y destrucción de los terrenos agrícolas: Sin duda alguna los impactos a los terrenos agrícolas (incluyendo plantaciones) serán de diversos tipos, desde

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

simples inundaciones hasta destrucción o la desaparición del terreno con sus cultivos, esto se debe a las plantaciones que se realizan en las pendientes de los conos aluviales de las distintas quebradas y plantaciones en el lecho del río.

- ❖ Destrucción y deterioro de canales de regadío: Las crecidas del río impactan directa mente en los bocatomas de los canales causándoles un deterioro o una destrucción parcial o total, a esto se le suma las múltiples bajadas de quebradas a las cuales están expuestos, las cuales si no los obstruyen los cortan.
- Erosión de Suelos. Se debe principalmente al proceso de arrastre que genera la escorrentía superficial, el cual se ve ampliamente beneficiado por la escasa vegetación que poseen los suelos en la cuenca. Este impacto se ve beneficiado por la remoción de la cubierta vegetal natural de los terrenos.
- Contaminación por actividad minera. Esto se debería a los depósitos de relaves principalmente a los existentes en la zona de quebrada Marquesa, los cuales pueden se afectados por crecidas y/o aluviones. Esta contaminación puede afectar tanto a las aguas del río Elqui como a los terrenos agrícolas.
- Contaminación por Nitratos: Estos nitratos se encuentran asociados a los fertilizantes agrícolas, los cuales afectan directamente a los suelos de los cultivos y se concentran en estos. Su permanencia en estos suelos se beneficia por las escasas precipitaciones. Al tener mayores precipitaciones y en forma más frecuente estros nitratos pueden se transportados desde los suelos hasta las aguas subterráneas.
- Impactos en las obras civiles. Estos afectarían principalmente a los puentes y caminos tanto principales como secundarios. Estos impactos se deberían principalmente a las crecidas de las numerosas quebradas, donde los mayores impactos serian en los caminos interiores los cuales son principalmente de tierra (Interior de quebrada marquesa y de Pisco Elqui hacia el interior). Estos impactos traerían consigo otra serie de impactos indirectos debido al aislamiento de los

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

sectores.

❖ Dentro de los impactos positivos que se tendría con estos escenarios, seria la disponibilidad de recurso hídrico que se tendría, gracias a las altas precipitaciones en la Cordillera.

Sin duda que los impactos negativos mencionados anteriormente disminuirían o simplemente no se presentarían si las precipitaciones se distribuyeran en una cantidad mayor de meses y con precipitaciones menos intensas, aumentando los impactos positivos, como por ejemplo se vería ampliamente favorecido el sector de secano, evento totalmente distinto a lo que sucede con lluvias tan intensas, las cuales generalmente provocan más daños que beneficios.

Familia Beta: recordando que en estos tipos de escenarios se propuso una disminución de las precipitaciones en un 25, 50, 75 y 87.5 %, tanto pluviales como nivales. Solamente el hecho de que se presenten precipitaciones menores a la media de referencia, se estaría frente a lo que se considera en este trabajo una sequía de tipo meteorológica, por lo que los mayores impactos producidos por esta familia de escenarios se encontrarían asociado a los distintos tipos de sequías (meteorológica, hidrológica y agrícola) que se pudiesen presentar. En la tabla 5.11 se muestran las probabilidades de que las precipitaciones disminuyan. Estas probabilidades son mayores que las probabilidades de que las precipitaciones aumenten.

En este tipo de escenarios, los grandes impactos estarían asociados a periodos de varios años en los cuales se presenten condiciones de sequías. Recordando que las sequías parten siendo meteorológicas luego hidrológicas y finalmente agrícolas (figura 4.1).

De la misma forma que evolucionan las sequías, evolucionan los impactos asociados.

Se entiende como sequía meteorológica el déficit de las precipitaciones en un año, este déficit traería como consecuencia una sequía hidrológica la cual durante el primer año no pasaría a ser una sequía agrícola, ya que los embalses existentes suplirían la

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

demanda de agua, a excepción del sector de Estero Derecho donde no existen embalses que puedan regular esta cuenca. La sequía hidrológica se define como un evento en que la demanda supera a la oferta de agua, generándose un déficit que tiene asociado un daño; si no hay daño, no se habla de sequía, aún cuando haya déficit (Fernández et al, 2001). De esta forma los impactos no solamente alcanzan el sector Agrícola, sino también al sector Industrial y Minero, las cuales se traducen como perdidas en todos los sectores.

Los embalses existentes en la cuenca servirían para disminuir los efectos de las escasas precipitaciones, principalmente la nival, sin duda la gran misión que tienen estos embalses es acumular agua durante los años en que sea posible, de manera que, en los años de escasas o nulas precipitaciones no falte este recurso para las distintas actividades que se desarrollan. La interrogante ahora es, por cuanto tiempo estos embalses pueden suplir este déficit en la disponibilidad de agua, esto dependerá exclusivamente según como sea la política de manejar dichos embalses para enfrentar los distintos tipos de magnitudes y duración del periodo de sequía. Mencionando que estos periodos no son predecibles en cuanto a su magnitud ni duración lo cual complica más aún el manejo de estos embalses, solamente se tiene como referencia que cada cuatro o cinco años se presenta un evento del Niño.

Familia Gama: En esta familia lo que se ha propuesto es, una disminución de las precipitaciones pluviales y un aumento de las precipitaciones nivales. Donde los impactos asociados a estos escenarios serian mínimos. Las escasas precipitaciones afectarían principalmente a la flora y fauna de secano, ya que el mayor aporte de agua es realizado por los deshielos primaverales, fecha en que la demanda agronómica de agua en la cuenca es mayor (figura 6.1).

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.



Figura 6.1 Demanda agronómica de agua total de la cuenca (Alfaro y Honores 2001). Se aprecia claramente, que estos caudales poseen un comportamiento similar a los de los caudales naturales, donde alcanzan sus máximos en los meses de diciembre y enero (ver figura 1.1)

Familia Delta: En esta familia se ha propuesto un aumento de las precipitaciones y una disminución de las nivales. Lo que probablemente sucedería en este tipo de escenario, serían los impactos descritos en la familia alfa. A estos escenarios se le sumaria la escasa nieve acumulada disminuyendo de esta manera la oferta hídrica y la recarga para los embalses.

Finalmente se puede decir que los eventos causantes de impactos que se han presentada en el pasado, ya sea en años de grandes e intensas precipitaciones y/o periodos de escasas precipitaciones se volverán a presentar en el futuro.

6.3.- Capacidad de Adaptación y rol institucional.

Entendiéndose por capacidad de adaptación como la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático incluyendo la variabilidad del clima y sus extremos para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias (IPCC 2001).

La capacidad para adaptarse y hacer frente a los impactos del cambio climático es una función de la riqueza, los conocimientos técnicos y científicos, la información, las aptitudes técnicas, la infraestructura, las instituciones y la equidad. Las sociedades con recursos económicos limitados, bajo nivel tecnológico, información y aptitudes técnicas

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

insuficientes, infraestructura deficiente, instituciones inestables o débiles y acceso a los recursos no equitativos tienen poca capacidad para adaptarse y son sumamente vulnerables (IPCC 2001).

La adaptación al clima (incluyendo su variabilidad) y los objetivos de sustentabilidad se pueden fomentar a la misma vez, mediante cambios en las políticas que alivien la presión sobre los recursos y mejoren la gestión de los riesgos ambientales.

Las decisiones, actividades y programas de desarrollo realizadas por las instituciones poseen un papel importante en la modificación de la capacidad de adaptación de comunidades.

Sin duda que el cambio climático así como las oscilaciones climáticas a las cuales ha estado expuesta la cuenca del río Elqui involucran a un gran número de instituciones, ya sea en forma directa o indirecta. Siendo el recurso hídrico uno de los principales centros de interés, por razones que son evidentes.

Dentro de las principales instituciones nos encontramos con, la Dirección General de Agua (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Junta de Vigilancia del río Elqui y sus Afluentes, Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA), Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), las comisiones Nacionales de riego (CNR) y de Sequía y la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI). Todas estas organizaciones poseen funciones distintas pero buscan un objetivo común el cual es el bienestar de la sociedad.

En la tabla 6.2 se muestran las principales instituciones y sus funciones principales.

Tabla 6.2 Principales Instituciones.

Institución	Función
Dirección General de Aguas (DGA) (www.dga <u>.cl)</u>	Encargado de velar que el aprovechamiento de los Recursos Hídricos del País, se desarrolla dentro del marco legal vigente y con plena información para los usuarios. En esta perspectiva debe impulsar la Política Nacional de Aguas que propicie el uso sustentable del recurso y la participación de todos los sectores a través de una gestión integrada a nivel de cuencas.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) (www.moptt.cl)	Desarrollar obras hidráulicas dentro de un contexto de manejo integrado de cuencas hidrográficas, propendiendo a un uso eficiente de los recursos disponibles, en beneficio del desarrollo de la comunidad. La LEY Nº 19.525 DE 1997, fija para la Dirección de Obras Hidráulicas, las siguientes funciones: a) Planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenajes de aguas lluviasb) Desarrollo de los Planes Maestros, que permitirán definir lo que constituye la red primaria de sistemas de evacuación de aguas lluvias. Dichos Planes serán firmados por los Ministros de Obras Públicas y Vivienda y Urbanismo. c) Las Redes de evacuación y drenaje de aguas lluvias serán

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

	T
	independientes de las redes de alcantarillado. Podrán conectarse cuando la autoridad competente así lo disponga. d) Los Planes deben considerar la situación
	de las cuencas hidrográficas; y contener las acciones para evitar la erosión y
	deforestación.
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (www.ceaza.cl)	El Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, es una Unidad de Desarrollo Científico y Tecnológico Regional; es decir, un verdadero consorcio de investigación en el que confluyen las capacidades científicas y las voluntades de los sectores público y privado. Su fundación, en el año 2003, se gestó gracias a un proyecto conjunto de la Universidad de La Serena, la Universidad Católica del Norte - Sede Coquimbo - y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-INTIHUASI. Estas instituciones establecieron el CEAZA, gracias al financiamiento otorgado por CONICYT y el Gobierno Regional de Coquimbo. El Centro se ha constituido con 37 investigadores, 10 de los cuales son profesionales contratados especialmente para el proyecto a jornada completa y otros cuatro son estudiantes de post-doctorado. Su estructura organizativa está encabezada por un Director, un Subdirector y un Consejo Ejecutivo compuesto por los Coordinadores de los 5 Grupos de Trabajo que posee: Hidrología y Modelos, Biología Terrestre, Agricultura y Clima,
	Biología Marina, y Acuicultura y Oceanografía.
Junta de Vigilancia del Río Elqui. (www.rioelqui.cl)	La Junta de Vigilancia del río Elqui y sus Afluentes es una organización de derecho privado cuya principal misión es la de administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en los cauces naturales originados en la cuenca de río Elqui, además explota y conserva las obras de aprovechamiento común y realiza los demás fines que encomienda la ley a través del Código de Aguas de 1981. Debido al carácter relevante que posee el recurso sobre las actividades sociales, culturales, económicas y productivas existentes en la provincia del Elqui, creemos que es necesario incorporar, como parte de la misión institucional, la promoción y divulgación para la conservación y explotación sustentable del recurso, involucrando a todos los actores de la cuenca. En el Valle del Elqui hay 3.313 regantes. De los cuales, 2.915 son propietarios, 280 sucesiones, 98 arrendatarios y 22 medieros.
Latina y el Caribe (CAZALAC <u>)</u>	
(www.cazalac.org)	Gobierno Regional de Coquimbo (IV Región). (http://www.gorecoquimbo.cl), Ministerio de Obras Públicas (Dirección General de Aguas) -
	(http://www.dga.cl)
Comisión Nacional de Riego (CNR) (www.chileriego.cl)	La Comisión Nacional de Riego es un organismo de derecho público que se relaciona con el Gobierno a través del Ministerio de Agricultura, que tiene por misión "Coordinar la formulación y materialización de la política nacional de riego, para el óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos del país con énfasis en el riego y el drenaje". A fines de la década de los 60 se había detectado la existencia de una diversidad de servicios con actividades relacionadas con el tema Riego. Debido al carácter multisectorial de la materia, en 1975 se decidió crear la Comisión Nacional de Riego (CNR), a fin de constituirse en la entidad pública encargada de coordinar los esfuerzos y supervisar las inversiones en riego en el país. En el año 1985 se incorporó dentro de sus funciones la administración de la Ley 18.450, de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (obras menores de riego y drenaje). Tiene por misión asesorar, guiar, coordinar, evaluar y controlar el ejercicio
Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI)	eficiente y eficaz de la gestión permanente del Estado de Chile en la planificación y coordinación de los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o provocados por la acción

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

	humana, proporcionando a los Ministerios, Intendencias, Gobernaciones, Municipios y organismos de Protección Civil de los niveles Nacional, Regional, Provincial y Comunal, modelos de gestión permanente y participativos para la administración de riesgos.
Comisión Nacional de Sequía	Este Departamento desarrolla actividades de planificación, control y diagnóstico de la Condición del medio ambiente en la que se registra deficiencia de humedad, debido a que durante un lapso más o menos prolongado, la precipitación pluvial es escasa. El ciclo hidrológico se desestabiliza al extremo de que el agua disponible llega a resultar insuficiente para satisfacer las necesidades de las comunidades y los ecosistemas, lo cual disminuye las alternativas de supervivencia e interrumpe o cancela múltiples actividades asociadas con el empleo del agua.

Dada las funciones mostradas en la tabla anterior, podemos decir que cada una de estas instituciones aporta con su visión, misión, gestión, investigación, experiencia y conocimiento técnico – científico, donde la capacidad de adaptación de los sistemas locales dependen de los objetivos comunes que se plantean estas instituciones.

Uno de los objetivos planteados en este trabajo es "evaluar" la capacidad de adaptación de las instituciones regionales frente al cambio climático u oscilaciones climáticas, lo cual ha sido algo sumamente complejo debido a que la gran cantidad de instituciones que se encuentran relacionadas de una u otra manera con el tema, las cuales tienen como finalidad en forma individual y en su conjunto optimizar los recursos y minimizar los impactos de estas oscilaciones de acuerdo a sus realidades y herramientas disponibles.

En el caso de éste estudio al intentar evaluar la capacidad de adaptación de las instituciones al cambio climático, el principal obstáculo que se presenta es el desconocimiento de los escenarios climáticos a los cuales probablemente pueda estar expuesta la Región y la cuenca. Desarrollándose hasta el momento una serie de escenarios en los cuales las incertidumbres son demasiado grandes.

Sin embargo si consideramos la variabilidad climática existente, nos encontramos que la Región se ha visto enfrentada a una gran cantidad de eventos climáticos, de distinta índole, los cuales van desde sequías extremas a distintos fenómenos hidroclimáticos (inundaciones, crecidas, aluviones, avalanchas, deslizamientos, nevazones y marejadas), un ejemplo de esto fue el año 1997 donde la región pasó de ser decretada una zona de catástrofe debido a la sequía que la afectaba, a ser decretada nuevamente una zona de catástrofe pero esta vez por causa de los temporales.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Debido a esta variabilidad, ya se posee el conocimiento de los efectos que pudiesen producir los distintos eventos. Como estos eventos no son nuevos para nuestro país, Región y cuenca, ya existen una serie de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que poseen roles y funciones en las distintas áreas.

También se considera que los sucesos extremos a los cuales se ha estado expuesto han sido catalizadores del cambio en la gestión. Debido principalmente a la exposición de las vulnerabilidades y el aumento de conciencia sobre los riesgos climáticos.

Un claro ejemplo de lo anterior ha sido la construcción del embalse Puclaro, el cual tiene por objetivo minimizar los impactos asociados a las sequías que se pudiesen presentar. Otro ejemplo de este tipo ha sido la introducción del riego por goteo, con lo cual se ha ocupado más eficientemente el recurso hídrico. Sin embargo, aún quedan asignaturas como la "planificación territorial" en las cuales hay mucho por hacer.

Finalmente podemos decir que tanto las instituciones a nivel local como nacional presentan una adaptabilidad natural, ya que se han formado, desarrollado y enfrentado a distintos tipos de condiciones ambientales, frente a las cuales han reaccionado tomando medidas para mitigar los impactos. Estas instituciones se encuentran en un continuo mejoramiento y optimización de su gestión con lo cual buscan enfrentar de una forma más eficiente y eficaz las condiciones de variabilidad climática.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

CAPÍTULO VII "Conclusiones"

En relación a los gases de efecto invernadero y el Cambio climático.

Si bien es cierto que ha existido una variación natural en las concentraciones de los principales GEI (CO₂, CH₄, N₂O), el incremento en las concentraciones de CO₂, CH₄, N₂O debido a las actividades humanas se ha superpuesto a una máxima de la oscilación natural. De ahí que en la actualidad, estas concentraciones superen los mayores registros existentes, los cuales datan de 400 mil años para CO₂, CH₄ y mil años para N₂O. A su vez, las actividades humanas han aportado a la atmósfera compuestos tales como los halocarbonos (compuestos de carbono que contienen flúor, cloro, bromo o yodo), hidroclorofluorocarbonos, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y perfluorometano, los cuales poseen periodos de residencia mayores que el CO₂. Lo anterior se ve reflejado por la tendencia a aumentar de la temperatura media anual de los últimos cien años, la cual ha aumentado 0,6±0,2 °C.

En relación a las variables climáticas de la cuenca: Las precipitaciones:

Analizado el registro histórico de las precipitaciones se ha comprobado la gran variabilidad anual de estas, la cual está relacionada directamente a los fenómenos El Niño y La Niña.

Analizadas las precipitaciones históricas en La Serena, donde se consideraron promedios móviles de 30 años, se ha obtenido que las precipitaciones han disminuido en orden del 40%. También se ha podido comprobar a través de la bibliografía que la mayoría de las grandes precipitaciones de comienzos del siglo XIX han estado asociadas a un evento Niño. Al respecto los análisis de las anomalías de precipitaciones para las distintas estaciones, no hacen nada más que respaldar esta disminución, donde los gráficos muestran períodos de hasta cuatro años con anomalías

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

negativas, las cuales llegan a ser del orden del 80% de déficit. Nuevamente utilizando como referencia el registro de precipitaciones y anomalías de La Serena se ha apreciado que estas anomalías han aumentado su frecuencia a partir de la década de 1940.

Caudales: Al igual que las precipitaciones estos poseen gran variabilidad anual y también se les ha detectado una tendencia, la cual, a diferencia de las precipitaciones presentan una tendencia al aumento de los caudales medios anuales a partir del año 1978 aproximadamente.

En el periodo de 1955 a 1977 predominan los años con anomalías negativas, las cuales alcanzaron e incluso superaron los siete años en forma consecutiva. A partir de 1978 existió una alternación más frecuente de las anomalías, donde las anomalías positivas se presentan de dos e incluso tres años en forma consecutiva y al menos uno de esos años fue un año Niño. Del registro de nieve acumulada de la compañía minera El Indio, se concluye que el principal aporte para estas anomalías positivas es la nieve acumulada en la alta montaña, durante los años de grandes precipitaciones (1983,1984, 1986, 1987, 1992, 1997 y 2002), el aporte que realizó esta nieve se produjo durante el año que precipitó y los siguientes. Esto explica en parte el aumento que han sufrido los caudales medios anuales.

Y finalmente, así como han aumentado los caudales medios anuales han aumentado los caudales extraídos para riego.

Las temperaturas:

No se ha encontrado una tendencia clara y común al aumento o disminución de las temperaturas máxima, media y mínima anual.

En cuanto a la temperatura media anual se observó una alternación mayor entre anomalías positivas y negativas durante los últimos 15 años y el predominio de las anomalías positivas ha sido mayor presentándose periodos de hasta cuatro años con anomalías positivas.

Las temperaturas mínimas anuales presentan un comportamiento similar al de las

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

temperaturas medias, un predominio mayor de las anomalías positivas en las estaciones de Rivadavia, La Ortiga, La Laguna y EL Indio, donde estas se presentan por periodos de hasta siete años consecutivos como es el caso de La Ortiga.

Las temperaturas máximas anuales presentaron un comportamiento más periódico que las temperaturas medias y mínimas, donde claramente se notan los periodos de dos, tres y cuatro años consecutivos de anomalías positivas lo mismo sucede con las anomalías negativas.

En cuanto a la evaporación potencial no se detectó alguna tendencia, solamente se apreciaron periodos de años en los cuales el predominio de las anomalías es positivo o negativo alternándose ambos periodos. Destacando en Rivadavia un predominio de anomalías positivas a partir del año 1993.

Realizado este trabajo no se ha podido determinar algún patrón de las oscilaciones climáticas, debido principalmente a la alta variabilidad de los registros existentes de un año a otro. No obstante se ha encontrado una relación entre el aumento de los caudales y la Oscilación Decadal del Pacífico, esta oscilación ha sido descrita como una fluctuación de largo período en el océano Pacífico y presenta dos fases, una fría y otra cálida las cuales son del orden de 20 a 30 años (Pacific Decadal Oscillation (PDO)). La última fase positiva fue desde 1977-1999, fecha que tiene directa relación con el comienzo del aumento de los caudales.

Respecto a los modelos climáticos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y escenarios climáticos.

Sin duda que los modelos climáticos son de una gran utilidad para realizar una aproximación de lo que pudiese acontecer a futuro con el clima y a su vez son sumamente complejos.

Para trabajar con estos modelos se han desarrollado cuarenta escenarios de emisiones, los cuales han sido agrupados en cuatro familias, estos escenarios fueron construidos como instrumentos para analizar en que forma influirán en el desarrollo del medio ambiente, el crecimiento demográfico, desarrollo socio-económico y el cambio tecnológico. Abarcan una amplia gama de situaciones distintas, los cuales presentan

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

muy buenas alternativas para realizar simulaciones con los modelos climáticos globales.

Sin embargo, debido a las pequeñas dimensiones de la cuenca del río Elqui, a su geografía compleja (presencia de las imponente barrera de la cordillera de los Andes y además la influencia de la corriente fría de Humboldt) y a los impactos del fenómeno ENOS sobre la región, no se pueden esperar buenas aproximaciones al comportamiento del clima local, aplicando un MCG en forma directa. Para obtener resultados medianamente confiables resulta ineludible aplicar alguna técnica de downscaling. Por lo que los escenarios climáticos desarrollados en el pasado, tanto para el país como la Región no son representativos del clima (por los motivos señalados anteriormente). En cuanto a la aplicación del downscaling, se concluye que la manera más viable de hacerlo es mediante una técnica dinámica, ya que las técnicas estadísticas quedan descartadas por las escasas estaciones meteorológicas que poseen un registro continuo y superior a los 20 años.

En términos generales, la modelación actual sólo es capaz de proveer estimaciones para el país y la Región con considerables incertidumbres.

Históricamente la Región de Coquimbo ha sufrido de una gran variabilidad climática, por un lado ha estado expuesta a largos periodos de sequías y por otro a años con intensas precipitaciones, con lo cual se piensa que el cambio climático global puede incrementar esta variabilidad climática natural existente.

Dentro de los escenarios de precipitaciones propuestos, los escenarios con disminución de las precipitaciones son los que tienen mayores probabilidades de presentarse y por ende poseen un periodo de retorno menor. Las probabilidades de que las precipitaciones en un año determinados disminuyan sobre un 25% se encuentran en el rango de 44,9-53,7 por ciento, con periodos de retorno que van de los 1,57 a 1,66 años. Por el contrario, en el caso del aumento de las precipitaciones se ha obtenido que las probabilidades de que las precipitaciones aumenten sobre la media (1964-2003) se encuentra en el rango de entre un 36,3 y 40,3 %, sus periodos de retorno se encuentran en el rango de 2,48 a 2,76 años.

En el caso de las precipitaciones mensuales en los meses de junio y julio donde históricamente se concentra cerca del 50% de las precipitaciones anuales, las probabilidades son del orden del 36% de que en alguno de estos meses las

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

precipitaciones sean inferiores a los 5 mm, obteniéndose un periodo de retorno de 2,77 años.

La probabilidad de que se presenten cuatro meses consecutivos (mayo, junio y agosto) con precipitaciones menores a los 10 mm mensuales es de 10,59 %. Esta situación se esperaría que suceda cada 10 años aproximadamente.

En cuanto a las vulnerabilidades: La cuenca del río Elqui es sumamente vulnerable a eventos hidroclimáticos, donde el área comprendida por las subcuencas del río Claro y Derecho, resultan ser las más vulnerable al déficit hídrico (es el área que presenta mayores sequías meteorológicas y no posee ningún embalse en la cabecera de la cuenca). Además es el área que presenta una mayor vulnerabilidad física a procesos de remoción en masa (debido a su geografía).

Sin duda que las áreas restantes de la cuenca también presentan una vulnerabilidad hídrica pero en un grado menor.

Para el desarrollo de la actividad productiva tanto de la Región como del país el recurso hídrico constituye un factor vital, este recurso se encuentra expuesto a una gran variabilidad interanual. La cual comprende años de gran déficit, como en el caso de las sequías, las cuales, dependiendo de su magnitud e intensidad pueden provocar un fuerte impacto socioeconómico en el ámbito regional y/o nacional, al limitar las actividades productivas y generar conflictos de usos. Por el contrario, se presentan años en los cuales las intensas y grandes precipitaciones son las principales causantes de inundaciones provocadas tanto por el desborde del río Elqui y crecidas de quebradas. A su vez se ha detectado que la cuenca del río Elqui es sumamente sensible a precipitaciones que se presenten por más de dos días consecutivos, con una intensidad superior a los 20 mm/día. En ese periodo se pueden desarrollar eventos como inundaciones, crecidas de quebradas y procesos de remoción en masa.

Finalmente, el "Cambio Climático" es un tema sumamente complejo, donde nadie puede decir con un ciento por ciento de seguridad como cambiará el clima a nivel mundial y local, solamente se pueden hacer estimaciones con grandes incertidumbres. No obstante el continuo proceso de investigación permitirá disminuir paulatinamente las incertidumbres y tener un conocimiento más amplio de los efectos del cambio climático en la Región.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Referencias

- ✓ AC, (1998) "Control y Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos IV Región" Noviembre 1998.
- ✓ Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Disponible en: http://www.arpansa.gov.au/
- ✓ Alfaro C. y Honores C., (2001): "Análisis de la disponibilidad del recurso hídrico superficial en cauces controlados de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa", Universidad de La Serena, Facultad de Ingeniería, Departamento de Obras Civiles, La Serena, 206 p.
- ✓ Análisis de la Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en Cuencas Críticas Huasco y Elqui" CONIC-BF. Junio 1995.
- ✓ Arrhenius, Svante (1896): "On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground", Philosophical Magazine, 41, n° 251, April: 237-277, citado en Cline, op. Cit., p.13.
- ✓ Benítez, A. (1994): Características Climáticas y Geológicas de Chile. Pp. 19-37 en Espinoza, G., P. Pisani, L. Contreras y P. Camus. Perfil Ambiental de Chile. CONAMA.
- ✓ Bjerknes J. (1969): Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. Montly weather Review, vol. 97, 163-172.
- ✓ Bonilla C. En: A Norero & C Bonilla (eds) La Sequía en Chile: Contexto histórico y consecuencias en el sector silvoagropecuario, 15-22. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 119 pp
- ✓ Bodini H y F Araya (1998) Visión geográfica global. En: Morales L (ed) La Región de Coquimbo. Espacios y recursos para un desarrollo sustentable. Seminariostalleres. Proyecto Desarrollo Sustentable: Convenio Universidad de La Serena (Chile)-Universidad de Regina (Canadá). Centro de Estudios Regionales. Universidad de La Serena. La Serena. Chile.
- ✓ Cade-Idepe (2004): Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del río Elqui Dirección General de Aguas Diciembre 2004.
- ✓ Canadian Center for Climate Modelling and Analysis, Disponible en http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/eng_index.shtml

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- ✓ Cereceda P. & A. Errázuriz (1991): Ecogeografía: Nueva Geografía de Chile. Editorial Zig-Zag SA, Santiago, 225 pp.
- ✓ CONAMA (1999): "Primera Comunicación Nacional Bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático". Santiago, Chile.
- ✓ CONAMA, Sequía Disponible en http://www.conama.cl/portal/1255/article-26426.html.
- ✓ Conte, A, (1986): Vulnerabilidades a los eventos naturales en Chile, *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*.
- ✓ Diario el Día. Diversos artículos publicados entre los meses de junio y agosto de 1984. La Serena, Chile.
- ✓ Diario el Día. Diversos artículos publicados entre los meses de junio y septiembre de 1997. La Serena, Chile.
- ✓ Dirección Meteorológica de Chile "El NIÑO- LA NIÑA" Disponible en http://www.meteochile.cl/nino nina/nino nina.html
- ✓ Di Castri F. & E Hajek (1976): Bioclimatología de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 107 pp.
- ✓ Donoso G., J. Cancino, C. Soler y Prieto J. En: A Norero & C Bonilla (eds) Impacto económico de las sequías sobre la agricultura en Chile 53-69. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 119 pp.
- ✓ Downing, T. E., Santibáñez, F., Romero, H., Peña, T., Gwynne, R.N., Ihl, M., Rivera, A. (1994): Climate change and sustainable development in the Norte Chico, Chile: climate, water resources and agriculture. Environmental Change Unit, Univ. Oxford and School of Geography, Univ. Birmingham. 57pp.
- ✓ Espinoza G. A & E R Hajek (1988): Riesgos climáticos: Evidencias en Chile central. En: ER Fuentes & S Prenafeta (eds) Ecología del paisaje en Chile central. Estudios sobre sus espacios montañosos: 31-41. Ediciones Universidad Católica, Santiago, 125 pp.
- ✓ Fernández B., J. P. Montt (2001): Estimación del periodo de retorno de sequías meteorológicas e hidrológicas mensuales, Ingeniería hidráulica en México, vol. XVI, núm. 3, pp. 25-37.
- ✓ Fiebig-Wittmaack, M., E., González and C. Pérez., 2005: Hydrometeorological Characteristics of an Arid Andean Valley at 30°S, en preparación.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- ✓ Folland, C.K., Karl, T.R., Christy, J.R., Clarke, R.A., Gruza, G.V., Jouzel, J., Mann, M.E., Oerlemans, J., Salinger, M.J. and Wang, S.-W. (2001): Observed Climate Variability and Change. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I tothe Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds.J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 99-192.
- ✓ Fuentes E. & R Avilés (1994): Efectos del cambio global en Chile. En Espinoza G, P Pisani, LC Contreras & P Camus (eds) Perfil Ambiental de Chile: 367-375. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago. 569 pp.
- ✓ Graham N. E., W. B White (1988): The El Niño cycle: a natural oscillator of the Pacific Ocean-atmosphere system. Science, vol. 240, 1293-1302.
- ✓ Graña F., Características Geohistóricas de la Ocupacion del Espacio en el Curso Medio del Valle de Elqui Disponible en http://www.naya.org.ar/congreso2000/ponencias/Fernando_Grana.htm
- ✓ Gray,W.M., (1993): Forcast of Atlantic Seasonal Hurricane Activity for 1993. Fort Collins, CO:Department of Atmospheric scinces, Colorado State University.
- ✓ Grodzicki J. (1994): Nasca. Los Síntomas Geológicos del Fenómeno El Niño y sus Aspectos Arqueológicos. Programa especial de la Misión Arqueológica Andina de la Universidad de Varsovia. Uniwersytet Warszawski, Centrum Studiów Latynoamerykanskich CESLA.
- ✓ Guevara S. (2003): Distribución y comportamiento de metales pesados en las aguas del río Elqui y sus tributarios. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Ambiental. Universidad de La Serena.
- ✓ Gulubev, G., (1969): Avalanchas y corrientes de barro en Chile, Revista de Informaciones Geográficas, numero único 1967-1969. Departamento de Geografía, Universidad de Chile.
- ✓ Hajek, E., (1981): Ocurrencia histórica y efecto de la sequía en Chile, Convenio ONEMI-PUC.
- ✓ Harvey,D., J.M.Gregory, M.Hoffert, A.Jain, M.Lal, R.Leemans, S.Raper, T.M.L.Wigley, y J.de Wolde, (1997): An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report. IPCC Technical Paper II, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza, 47 págs.
- ✓ Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S. y Chipanshi, A.C.(2000): Generador de escenarios climáticos para las

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación:MAGICC y SCENGEN, Manual de la versión 2.4, Unidad de Investigaciones del Clima, Norwich, Reino Unido, 52 páginas
- ✓ INECON, (1997): "Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, Cuenca del Río Elqui" INECON. Diciembre 1997.
- ✓ IGM (1988): Geografía IV Región de Coquimbo. Colección Geográfica de Chile, Instituto Geográfico Militar, 425 p.
- ✓ IPCC (2000) Escenarios de Emisiones, Informe Especial del Grupo de Trabajo III del IPCC. Disponible en http://www.grida.no/climate/ipcc/.
- ✓ IPCC (2001): Cambio climático 20001: Informe de síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WMO-UNEP. 184 pp.
- ✓ IPLA (1996): "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile".
- ✓ Jacobson M., C., R. J. Charlson, H. Rodle, G. H., Orinas (2000). Earth System Science, Academic Press, San Diego, CA, 523 pp.
- ✓ Jones P., D., T. J. Osborn, K. R. Briffa (2001): The Evolution of Climate Over the Last Millennium Science, v.292(5517), pp.662, April 27, 2001
- ✓ Kalthoff, N., I. Bischoff- Gauß, M. Fiebig-Wittmaack, F. Fiedler, J. Thürauf, E. Novoa, C. Pizarro, R. Castillo, L. Gallardo. R. Rondanelli, M. Kohler (2002): Mesoscale Wind Regimes in Chile at 30°S
- ✓ Kalthoff, N., M. Fiebig-Wittmaack, C.Meißner, M. Kohler, M.Uriarte, I.Bischoff-Gauß (2005): The Climate of the Elqui Valley, Part I: Radiation, Energy Balance and Water Balance Components, en preparación.
- ✓ Kiehl and Trenberth (1997): Earth's Annual GlobalMean EnergyBudget, Bull. Am. Met. Soc. 78, 197-208.
- ✓ Kohler, M., N. Kalthoff, M. Fiebig-Witt,aack, M. Uriarte, I. Bischoff- Gauß, E. González, (2005): The Climate of Elqui Valley, Part II: Temperatura, Humidity and Wind, en preparación.
- ✓ Kruizinga, S., And A. Murphy (1983): Use of an analogue procedure to formulate objective probabilistic temperature forecasts in the Netherlands. Mon. Wea. Rev., 111, 2244–2254.
- ✓ Leclerc, Anne Juillet y H. SCHRADER (1987): Variations of upwelling intensity recorded in varved sediment, *Nature*, 329, pp. 146-149.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- ✓ Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco, California
- ✓ Lorenz, E. N. (1969): Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogs. J. Atmos. Sci., 26, 639–646.
- ✓ Luna-Jorquera G & BM Culik (1999): Diving behaviour of Humboldt Penguins Spheniscus humboldtii in northern Chile. Marine Ornithology 27: 67-76.
- ✓ Meléndez E. (1972): CIREN, Centro de Información de Recursos Naturales. 1972.
- ✓ Miller, A., (1976): The Climate of Chile. Climates of Central and South America, W. Schwerdtfeger, Ed., World Survey of Climatology, Vol. 12. Elsevier Scientific, 113 -145.
- ✓ Ministerio de Obras Publicas, (2002): "Evaluación ambiental regional de la cuenca del río Elqui", Programa de manejo de recursos hídricos, Vol. III, 139 p.
- ✓ MOP, Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas (2001): Perfiles Ecológicos de las cuencas de los ríos Lluta, San José, Huasco, Elqui, Limarí, Petorca, La Ligua, Mataquito, Itata, Imperial y del Lago Budi. Documento Final. 2001
- ✓ Mörner N. A (1984): Climatic Changes on a early to millennial basis. Concluding remarks. Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis, (N. A Mörner & W Karlén – eds.) 637-651, Reidel.
- ✓ Mörner N. A (1992): Present El Niño-ENSO events and past super-ENSO events; effects of changes in the earth's rate of rotation. Paleo-ENSO Records International Symphosium. Extended abstracts. 201-206, Lima.
- ✓ Mörner N. A. (1985): Possible Super- ENSO in the past. Abstracts, IAMAP/IAPSO meeting, 31,44,68, 94, 118, Honolulu.
- ✓ Moseley M., Tapia J., Satterlee D., Richardson III J.B (1992): Flood events, El Niño events and tectonic events. Paleo-Enso Records International Symphosium. Extended abstracts. 2001-2006 Lima.
- ✓ ONEMI (1981): Informe del Proyecto Regional de Deslizamientos de Tierra.
- ✓ Pacific Decadal Oscillation (PDO) Disponible en http://topexwww.jpl.nasa.gov/science/pdo.html

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- ✓ Paskoff, R. (1970): Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques. Biscaye , 420 p. Bordeaux.
- ✓ Peña, H. (1994): Efectos ambientales derivados del uso de recursos hídricos. Pp. 419-444 en Espinoza, G., P. Pisani, L. Contreras y P. Camus. Perfil Ambiental de Chile. CONAMA
- ✓ Quinn (1993): The Large scale enso event, the el Niño and other important regional features William H Quinn 1993 College of oceanography, Oregon State University 1993 Bult. Inst. études andines.
- ✓ Quinn, W. H. (1993): A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A. D. 622 1900 incorporating Nile River flood data. Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press. Edited by Díaz and Markgraf. pp 119-149
- Quinn, W.H., V.T. Neal, And S. E. Antunez De Mayolo (1987): El Niño occurrences over the past four and a half centuries. Journal of Geophysical Research. 92:14,449-14,461.
- ✓ Romero H (1985): Geografía de los Climas, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 243 pp.
- ✓ Romero H, A Rovira & G Véliz (1988): Geografía IV Región de Coquimbo, Colección Geografía de Chile. Editorial Instituto Geográfico Militar, Santiago, 425 pp.
- ✓ Rundel PW, Mo Dillon, B Palma, HA Mooney, SI Gulmon & Jr Ehleringer (1991): The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Deserts. Aliso 13:1-49.
- ✓ SANTIBÂNEZ, F. (1992): Impact on Agriculture due to Climatic Change and Variability in South America: A Case Study of the Arid Zone of Chile. Santiago: University of Chile.
- ✓ Santibañez F & Jm Uribe (1999): Origen, variabilidad y aspectos agroclimáticos de las sequías en Chile. En: Norero A & C Bonilla (eds) Las sequías en Chile: Causas, consecuencias y mitigación: 23-32. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. 128 pp.
- ✓ Santibañez F (1997): Tendencias seculares de la precipitación en Chile. En: Soto G & F Ulloa F (eds) Diagnostico de la desertificación en Chile: 31. Corporación Nacional Forestal (CONAF), La Serena, Chile.
- ✓ SERNAGEOMIN (1982): Mapa geológico de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. 6 cartas escala 1:1.000.000.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

- ✓ SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. 2002.
- ✓ Stanners, D. & P. Burden (Eds). *Europe's Environment. The Dobris Assessment*. Copenhagen: European Environmental Agency, 1995.
- ✓ Quinn W. H (1993): The Large scale enso event, the el Niño and other important regional features College of oceanography, Oregon State University1993 Bult. Inst. études andines.
- ✓ Thompson MV, B Palma, Knowles JT & Holbrook (2003): Multi-annual climate in Parque Nacional Pan de Azúcar, Atacama Desert, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76: 235-254.
- ✓ Tyndall, J (1863): "On Radiation Through the Earth's Atmosphere", Philosophical Magazine, 4:200; citado en William R. Cline (1992): The Economics of Global Warming. Institute for International Economics, p.13
- ✓ Urrutia de Hazbún, R., C. Lanza Lazcano (1993): Catástrofes en Chile,1541-1992, 440 pp, Editorial La Noria
- ✓ Vásquez J, P Camus & FP Ojeda (1998): Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas rocosos del norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 479-499.
- ✓ Von Storch H. (1995): Inconsistencies at the interface between climate research and climate impact studies. Meteor. Z., 4, 72–80.
- ✓ Walker G T., E. W Bliss (1932): World weather. Royal Meteorological Society Memoirs 3, no 36, 53-84.
- ✓ Weischet W (1970) Chile: Seine Länderkundliche Individualität und Struktur (Chile: Its Geographical Individuality and Structure). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 618 pp.
- ✓ Weischet, W. (1996): Regionale Klimatologie, Teil 1, Die Neue Welt, Amerika Neuseeland Australien (Regional Climatology, Part 1. The New World, America-New Zealand-Australia). B.G. Teubner, 468 pp
- ✓ Wyrtki, K. (1973): Teleconnections in the equatorial Pacific Ocean. Science. 180:66–80.
- ✓ Zorita E. And Storch H.V. (1997): A survey of statistical downscaling techniques. GKKS Technical Report No. 97/E/20, Geesthacht, Germany.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

✓ Zorita E. And Storch H.V. (1999): The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. Journal of Climate, 12, 2474-2489.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ANEXOS

ANEXO 3.1

Descripción De Instrumentos Meteorológicos y su Mantención en la Cuenca de Elqui.

La Dirección General de Aguas posee un completo manual para operadores de instrumentos meteorológicos, el cual es resumido a continuación.

MANUAL PARA OPERADORES DE INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DGA

A) PLUVIOMETRO: La vasija pluviométrica va suspendida del correspondiente soporte, el cual va atornillado a un poste donde la boca del pluviómetro queda horizontal y a 1m del suelo.

Para la medición de la altura de lluvia se quita la parte superior del aparato, se saca la vasija interior y se vacía el agua en la probeta.

Una estación pluviométrica deberá ser visitada a lo menos una vez cada 30 días, donde se anotarán las lecturas mensuales que correspondan.

Con respecto a la medición:

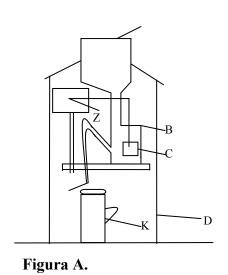
- ➤ Todos los días a las 08:00 hrs. deberá medirse la cantidad de agua caída, utilizando para ello la reglilla graduada correspondiente.
- Una vez efectuada la lectura correspondiente deberá procederse a botar el agua dejando el instrumento en condiciones de registrar otra medida.
- > Inmediatamente efectuada la lectura debe ser anotada en la libreta del observador.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Si por razones excepcionales no puede efectuarse la lectura en un día, podrá tomarse la cantidad acumuladaza de dos días, realizando la observación pertinente.

Si debido a una lluvia excepcional el colector llega a su capacidad máxima y rebalsa hacia el exterior, deberá medirse esta cantidad de precipitación vaciándola al colector, procediendo a anotar como precipitación total la suma de ambas.

B) PLUVIOGRAFO: Los pluviografos mecánicos 95, 95y y 95c se diferencian esencialmente por la altura del diagrama y por la forma de inscripción.



Como se muestra en la figura A el deposito metálico cilíndrico D lleva en su parte superior un anillo de canto afilado A que limita el área de entrada a las dimensiones normales 200cm². La lluvia caída fluye hacia el recipiente B y levanta el flotador C. Este movimiento se transmite por una varilla unida al flotador y una palanca Z a la plumilla inscriptora.

Combinando el movimiento de la plumilla con el movimiento uniforme del desarrollo gráfico del papel, resulta una curva cuya inclinación depende

de la intensidad instantánea de la lluvia. Después de una determinada cantidad de precipitación, la plumilla llega al borde superior del diagrama. El recipiente B se vacía entonces rápidamente a través de un sifón H, la plumilla retrocede hasta cero y vuelve a empezar.

El diagrama resultante se puede aprovechar de acuerdo con los factores que interesen. Además es posible un control suplementario del registro, pues el agua que escapa por el sifón H es recogida en el recipiente K, con lo que la cantidad total de precipitación se puede medir con una probeta.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Cada caída del flotador queda registrada en el diagrama con una interrupción vertical. Admitiendo que sobre esta vertical es posible apreciar la distancia de 1 mm, se reconoce que la mayor intensidad de lluvia todavía apreciable depende de la velocidad del registrador.

<u>Mantención:</u> Una vez al mes o en cada ocasión que sea necesario deberá efectuarse una mantención general la que consistirá en:

- Desarmar totalmente todo el sistema de sifonaje procediendo a su limpieza y recambio de piezas si es necesario.
- Proceder a su calibración debiendo quedar constancia de este proceso en un extremo del gráfico.
- Proceder a regular, o bien informar, si el reloj experimenta variaciones superiores a una hora en la semana.

<u>Medición:</u> Mediante la probeta adecuada al tipo de instrumento deberá medirse la cantidad de agua en el colector cada vez que se efectúe algún trabajo en relación con este instrumento.

Es necesario verificar a lo menos dos veces a la semana la cantidad de agua acumulada en el colector, la que deberá coincidir con el número de sifonajes que se encuentra registrado en el gráfico.

C) TEMPERATURA: El registro de las temperaturas máximas y mínimas que se realiza en las estaciones de la DGA como de la DMC se efectúa a las 08:00hrs para las temperaturas mínimas y a las 20:00hrs para las temperaturas máximas.

Para obtener la temperatura mínima debe usarse un termómetro de mínima que posee la característica de que el elemento sensible esta constituido por el deposito de alcohol, el cual se desplaza por una columna en la cual se encuentra un menisco que posee la característica de ser arrastrado por el alcohol cuando se contrae, permaneciendo fijo

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

cuando el alcohol se dilata. De esta manera al descender la temperatura, el menisco también queda fijo en la menor temperatura que se haya registrado donde el termómetro de mínima debe estar colocado en posición horizontal en la caseta.

Mientras que para la temperatura máxima, usarse un termómetro de máxima, que posee la característica de tener una estrangulación a la salida del depósito de mercurio, de manera que permita la salida del mercurio cuando la temperatura aumenta, impidiendo su retorno al depósito cuando la temperatura disminuye. Esta característica permite leer el dato de la temperatura de máxima registrada.

D) HIGROTERMOGRAFO: Registra la temperatura y la humedad relativa del aire sobre una misma banda de papel. El órgano sensible a la humedad consiste en cabello femenino convenientemente preparado, cuyas variaciones de longitud en función de la humedad se utilizan como recurso para la medida.

Esto se aplica solamente para las estaciones de la DGA, debido a que las estaciones del CIALS, del CEAZA y recientemente también la de la DMC, son estaciones automatizadas y registran la información cada 10 a 15 minutos.

E) EVAPORACIÓN POTENCIAL: Para medir la evaporación potencial se cuenta con una bandeja de evaporación que tiene las siguientes dimensiones: Diámetro 122.5 cm y 25 cm de profundidad con un volumen total de 0.295 m³ construido de lámina galvanizada. Las mediciones se realizan a las 08:00 hrs, de esta forma se contabiliza la evaporación del día anterior, para realizar la medición se utilizan dos métodos, uno donde se utiliza una regleta la cual se va enrrazando donde se observa el nivel de agua y por lo tanto la cantidad de agua evaporada y el otro es que se agregan cantidades de agua conocidas por medidas establecidas hay un recipiente que equivale a 1.0 mm y otro equivale a 0.1 mm.

Dentro de las actividades de mantenimiento se encuentran que una vez cada treinta días deberá verificarse que el evaporímetro este perfectamente nivelado.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Además deberá verificarse:

- > Estado de los recipientes medidores.
- Estado del estanque del evaporímetro.
- Estado del agua, que debe estar limpia y clara.

En la operación diaria se debe dejar nivel de agua con el indicador que posee, la lectura de la evaporación debe efectuarse usando para ello medidas que el instrumento posee.

Para que la medida sea representativa, es necesario que el agua del estanque este siempre limpia, para lo cual, según sean las condiciones del lugar donde se encuentra instalado deberán programarse los cambios que sean necesarios.

El estanque deberá estar siempre con agua en estado líquido, si las condiciones favorecen la formación de hielo deberá agregarse una solución anticongelante. Además deberá tenerse la precaución de eliminar cualquiera oxidación que se presente.

D) IMPORTANCIA DE LA EVAPORACIÓN POTENCIAL: La importancia de los datos de evaporación potencial es que se puede calcular la evaporación de un tranque o lago a partir del evaporímetro donde la relación representada entre el tanque y la evaporación real desde una superficie amplia de agua es: $\mathbf{E_r} = \mathbf{k^*E_t}$ donde: $\mathbf{E_r}$ es la evaporación real, $\mathbf{E_t}$ la evaporación del tanque y k constante de proporcionalidad que varia entre 0,6 y 0,85, el valor usado más frecuentemente es 0,7.

Así como se puede determinar la evaporación real de una superficie de agua también se puede relacionar la Evapotranspiración de los cultivos (ETc) con la evaporación directa desde una superficie libre de agua (Eb).

En los estados iniciales de desarrollo de un cultivo, en que el suelo está cubierto

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

parcialmente, la ETc es bastante más baja que la Eb, en tanto que en las etapas de mayor crecimiento, cuando el suelo se cubre totalmente puede ser igual o superior, revirtiéndose la situación en las últimas etapas. Para eliminar la distorsión se ha establecido un factor que relaciona ambos factores con los períodos de desarrollo del cultivo. Este factor se ha denominado Coeficiente de cultivo (Kc). También el entorno, o condiciones ambientales que rodea a la bandeja, juega un rol importante en la exactitud de la medición, por lo que para compensar las diferencias se creó un Coeficiente de bandeja (Kp). En consecuencia la evapotranspiración queda definida por la fórmula:

Etc = $Kc \times Kp \times Eb$

Sensores e instrumentos de las estaciones tanto del CEAZA como CIALS: Para medir la precipitación se utilizan equipos Texas Electronics, para medir la dirección y velocidad del viento en las estaciones se poseen equipos RM Young wind speed and direction, para medir la temperatura sensores Vaisala, para la temperatura del suelo y flujo de calor se utilizan sensores EME_Systems Generic, para la radiación solar sensores LiCor Pyranometer, para le presión se utiliza sensores SETR·A mod. 276, para la humedad de hoja equipos EME Systems LWET/VP. Las estaciones que transmiten online (CEAZA) utilizan procesadores Campbell Scientific USA.

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ANEXO 5.1

Tabla 2a

1 abia 2a							
Familia			A1		A2	B1	B2
Grupo de escenario	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Intensidad de energía final (10 ⁶ J/dólar)	16.7						
2020 2050 2100		9.4 (8.5-9.4) 6.3 (5.4-6.3) 3.0(2.6-3.2)	9.4(8.1-12.0 5.5(4.4-7.2) 3.3(1.6-3.3)	8.7(7.6-8.7) 4.8(4.2-4.8) 23.(1.8-2.3)	12.1(9.3-12.4) 9.5(7.0-9.5) 5.9(4.4-7.3)	8.8(6.7-11.6) 4.5(3.5-6.0) 1.4(1.4-2.7)	8.5(8.5-11.8) 6.0(6.0-8.1) 4.0(3.7-4.6)
Energía Primaria (10 ¹⁸ J/año)	351						
2020 2050 2100		669(653-752) 1431(1377-1601) 2073(1988-2737)	711(573-875) 1347(968-1611) 2226(1002-2683)	649(515-649) 1213(913-1213) 2021(1255-2021)	595(485-677) 971(679-1059) 1717(1304-2040)	606(438-774) 813(642-109) 514(514-1157)	566(506-633) 869(679-966) 1357(846-1625)
Proporción de carbón en la energía primaria (%)	24						
2020 2050 2100		29(24-42) 33(13-56) 29(3-48)	23(8-28) 14(3-42) 4(4-41)	23(8-23) 10(2-13) 1(1-3)	22(18-34) 30(24-47) 53(17-53)	22(8-27) 21(2-37) 8(0-22)	17(14-31) 10(10-49) 22(12-53)
Proporción de Carbono cero en la energía primaria (%)	18						
2020 2050 2100		15(10-20) 19(16-31) 31(30-47)	16(9-26) 36(21-40) 65(27-75)	21(15-22) 43(39-43) 85(64-85)	8(8-16) 18(14-29) 28(26-37)	21(7-22) 30(18-40) 52(33-70)	18(7-18) 30(15-30) 49(22-49)

Tabla 2b

1 abia 2b							
Familia			A1		A2	B1	B2
Grupo de escenario	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Intensidad de energía final (10 ⁶ J/dólar)	16.7						
2020 2050 2100		9.4 (8.5-9.4) 6.3 (5.4-6.3) 3.0 (3.0-3.2)	9.4 (8.7-12.0 5.5 (5.0-7.2 3.3 (2.7-3.3	8.7 (7.6-8.7) 4.8 (4.3-4.8) 2.3	12.1 (11.3-12 9.5 (9.2-9.5 5.9 (5.5-59	8.8 (6.7-11.6) 4.5 (3.5-6.0) 1.4 (1.4-2.1)	8.5 (8.5-9.1) 6.0 (6.0-6.6) 4.0 (3.9-4.1)
Energía Primaria (10 ¹⁸ J/año)	351						
2020 2050 2100		669 (657-752) 1431 1377-1601) 2073 (2073-2737)	711 (589-875) 1347 (1113-1611) 2226 (1002-2683)	649 (611-649) 1213 1086-1213) 2021 1632-2021)	595 (595-610) 971 (971-1014) 1717 1717-1921)	606 (451-774) 813 (642-1090) 514 (514-1157)	566 (519-590) 869 (815-941) 1357 (1077-1357)
Proporción de carbón en la energía primaria (%)	24						
2020 2050 2100		29 (24-42) 33 (13-52) 29 (3-46)	23 (8-26) 14 (3-42) 4 (4-41)	23 (23-23) 10 (10-13) 1 (1-3)	22 (20-22) 30 (27-30) 53 (45-53)	22 (19-27) 21 (4-37) 8 (0-22)	17 (14-31) 10 (10-35) 22 (19-37)
Proporción de Carbono cero en la energía primaria (%)	18						
2020 2050 2100		15 (10-20) 19 (16-31) 31 (30-47)	16 (9-26) 36 (23-40) 65 (39-75)	21 (15-21) 43 (41-43) 85 (67-85)	8 (8-16) 18 (18-29) 28 (28-37)	21 (7-22) 30 (18-40) 52 (44-70)	18 (12-18) 30 (21-30) 49 (22-49)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 3a

1990	A1FI	A1		A2	B1	B2
1990	Δ1FI					
		A1B	A1T	A2	B1	B2
	*					===
6.0						
	11 2 (10 7-14 3)	12.1 (8.7-14.7)	10 0 (8 4-10 0)	110 (7 9-11 3)	10 0 (7 8-13 2)	9.0 (8.5-11.5)
	'					13.8 (9.3-23.1)
	20.0 (27.7-20.0)	10.1 (12.7-10.4)	1.5 (1.5-7.1)	_ J.J. (17.0 JJ.4)	(3.3 13.2)	13.0 (7.3 23.1)
1.1						
	15(0.3-1.8)	0.5 (0.3-1.6)	0.3 (0.3-1.7)	1 2 (0 1-3 0)	0.6 (0.0-1.3)	0.0 (0.0-1.9)
		1 /	,		` /	, ,
	2.1 (2.1 0.0)	011 (2.1 2.2)	0.0 (0.0 0.1)	0.2 (0.1 2.0)	1.0 (2.0 0.1)	0.0 (1.7 1.0)
	2128	1437	1038	1773	989	1160
		-		-		(1033-1627)
	(2077 2170)	(1220 1909)	(505 1001)	(1505 1000)	(77.1500)	(1000 1027)
	61 (31-60)	62 (31-84)		31 (31-62)	80 (40-181)	-6 (-22-84)
	01 (31-09)	02 (31-04)		31 (31-02)	37 (7 7-101)	-0 (-22-04)
	2189	1490	1068	1862	983	1164
						(1164-1686)
70.0	2127-2330)	(1301-2073)	(1047-1113)	(1332-1736)	(772-1370)	(1104-1000)
0.7	97 (60, 124)	100 (62 117)	60 (60 101)	100 (66 105)	75 (52 112)	61 (48-101)
						56 (42-107)
						48 (33-48)
210	40 (27-03)	26 (20-71)	20 (20-27)	00 (00-93)	23 (11-23)	40 (33-40)
110	416 (415 470)	421 (400 444)	415 (415 ACC)	424 (254 402)	277 (277 420)	204 (204 4(0)
		· /				384 (384-469)
						505 (482-536)
	133 (209-133)	209 (289-040)	414 (2/4-291)	009 (349-1009)	230 (230-379)	597 (465-613)
)./	0.2 ((1.0.2)	72((100	(1 ((1 7 0)	0.6.(6.2.12.2)	0.1 (5.0.0.5)	(1/(1117)
						6.1 (6.1-11.5)
						6.3 (6.3-13.2)
	16.6 (5.9-16.6)	7.0 (5.8-17.2)	5.4 (4.8-5.4)	16.5 (8.1-19.3)	5. 7 (5.3-20.2)	6.9 (6.9-18.1)
1672						
				· ·	-	299
						346
12.0	614	614	614	753	299	649
52.0						
	42.7	42.7	42.7	50.9	31.7	54.8
						106.6
	115.3	115.3	115.3	178.4	44.9	121.3
57.7						
	47.8	47.8	47.8	63.5	37.4	54.7
		119.2	119.2	104.0	67.9	79.2
	94.6	94.6	94.	164.6	42.6	69.0
379						
	1204	1032	1147	1075	751	1022
	(1123-1552)	(978-1248)	(1147-1160)	(748-1100)	(751-1162)	(632-1077)
	2159	1214	1770	1428	471	1319
	(1619-2307)	(949-1925)	(1244-1770)	(642-1585)	(471-1470)	(580-1319)
	2570	1663	2077	2326	363	2002
	(2298-3766)	(1080-2532)	(1520-2077)	(776-2646)	(363-1871)	(661-2002)
139						
	192 (178-230)	222 (157-222)	190 (188-190)	179 (166-205)	140 (140-193)	180 (152-180)
	322 (256-322)	279 (158-301)	241 (206-241)	225 (161-242)	116 (116-237)	217 (147-217)
	420 (167-484)	194 (133-552)	128 (114-128)	342 (169-342)	87 (58-349)	170 (130-304)
30.9	,		,			
	50 (46-51)	46 (46-66)	46 (46-49)	50 (42-50)	40 (38-59)	43 (38-52)
				` /		
	95 (49-95)	48 (48-100)	61 (49-61)	71 (50-82)	39 (39-72)	55 (42-66)
3	1.1	11.2 (10.7-14.3) 23.1 (20.6-26.8) 30.3 (27.7-36.8) 1.1 1.5 (0.3-1.8) 0.8 (0.0-0.9) -2.1 (-2.1-0.0) 2128 (2079-2478) 61 (31-69) 87 (60-134) 81 (64-139) 40 (27-83) 810 416 (415-479) 630 (511-636) 735 (289-735) 6.7 9.3 (6.1-9.3) 14.5 (6.3-14.5) 16.6 (5.9-16.6) 672 337 566 614 32.0 42.7 88.7 115.3 37.7 47.8 119.2 94.6 37.9 1204 (1123-1552) 2159 (1619-2307) 2570 (2298-3766) 39 192 (178-230) 322 (256-322) 420 (167-484)	11.2 (10.7-14.3) 23.1 (20.6-26.8) 30.3 (27.7-36.8) 11.1 1.5 (0.3-1.8) 0.8 (0.0-0.9) -2.1 (-2.1-0.0) 1.6 (131-69) 1.7 (1220-1989) 1.8 (2079-2478) 1.9 (1301-2073) 1.0 (131-69) 1.0 (131-2073) 1.0 (131-2	11.2 (10.7-14.3) 23.1 (20.6-26.8) 30.3 (27.7-36.8) 16.0 (12.7-25.7) 13.1 (12.9-18.4) 1.1 1.5 (0.3-1.8) 0.8 (0.0-0.9) -2.1 (-2.1-0.0) 0.4 (-0.0-1.0) 0.4 (-2.4-2.2) 0.0 (0.0-0.1) 2128 1437 (1220-1989) 0.9 (1301-2073) 0.0 (0.0-0.1) 61 (31-69) 62 (31-84) 61 (31-69) 62 (31-84) 61 (31-69) 62 (31-84) 61 (31-69) 62 (31-84) 63 (2079-2478) 63 (1301-2073) 64 (47-120) 40 (40-64) 40 (27-83) 64 (47-120) 40 (40-64) 40 (27-83) 63 (28-71) 64 (47-120) 63 (511-636) 63 (511-636) 63 (511-636) 735 (289-735) 72 (6.1-9.6) 735 (289-735) 72 (6.1-9.6) 73 (6.3-14.5) 14.5 (6.3-14.5) 14.5 (6.3-14.5) 14.5 (6.3-14.5) 15.3 115.3	11.2 (10.7-14.3)	11.2 (10.7-14.3) 12.1 (8.7-14.7) 10.0 (8.4-10.0) 11.0 (7.9-11.3) 10.0 (7.8-13.2) 12.3 (10.8-12.3) 16.5 (10.5-18.2) 11.7 (8.5-17.5) 12.3 (10.8-12.3) 16.5 (10.5-18.2) 11.7 (8.5-17.5) 13.1 (12.9-18.4) 4.3 (4.3-9.1) 18.9 (17.6-33.4) 5.2 (3.3-13.2) 1.1 1.5 (0.3-1.8) 0.5 (0.3-1.6) 0.3 (0.3-1.7) 0.9 (0.6-0.9) 0.4 (0.0-1.0) 0.0 (0.2-0.5) 0.9 (0.6-0.9) 0.4 (-0.7-0.8) 0.9 (0.6-0.9) 0.2 (-0.1-2.0) 0.2 (-0.1-2.0) 0.2 (-0.1-2.0) 0.4 (-0.7-0.8) 0.2 (-0.1-2.0) 0.2 (-0.1-2.0) 0.4 (-0.7-0.8) (1220-1989) (989-1051) (1303-1860) (794-1306) 1.0 (2.8-0.1) 1.0 (2

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

Tabla 3b

1 adia 3d						_	
Familia			A1	1	A2	B1	B2
Grupo de escenario	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Dióxido de carbono, combustibles origen fósil (GtC/año)	6.0						
2020 2050 2100		11.2 (10.7-14.3) 23.1 (20.6-26.8) 30.3 (30.3-36.8)	12.1 (8.7-14.7) 16.0 (12.7-25.7) 13.1 (13.1-17.9)	10.0 (9.8-10.0) 12.3 (11.4-12.3) 4.3 (4.3-8.6)	11.0 (10.3-11.0) 16.5 (15.1-16.5) 28.9 (28.2-28.9)	10.0 (8.2-13.2) 11.7 (8.5-17.5) 5.2 (3.3-7.9)	9.0 (8.8-10.2) 11.2 (11.2-15.0) 13.8 (13.8-18.6)
Dióxido de carbono, uso de la tierra (GtC/año)	1.1						
2020 2050		0.8 (0.0-0.8)	0.5 (0.3-1.6) 0.4 (0.0-1.0)	0.3 (0.3-1.7) 0.0 (-0.2-0.0)	1.2 (1.1-1.2) 0.9 (0.8-0.9)	0.6 (0.0-1.3) -0.4 (-0.7-0.8)	0.0 (0.0-1.1) -0.2 (-0.2-1.2)
2100 Dióxido de carbono acumulativo, combustibles de origen fósil (GtC)		-2.1 (-2.1-0.0)	0.4 (-2.0-2.2)	0.0 (0.0-0.1)	0.2 (0.0-0.2)	-1.0 (-2.6-0.1)	-0.5 (-0.5-1.2)
1990-2100		2128 (2096-2478)	1437 (1220-1989)	1038 (1038-1051)	1773 (1651-1773)	989 (794-1306)	1160 (1160-1448)
Dióxido de carbono acumulativo, uso de la tierra (GtC)							
1990-2100		61 (31-61)	62 (31-84)	31 (31-62)	89 (81-89)	-6 (-22-84)	4 (4-125)
Dióxido de carbono acumulativo, total (GtC)							
1990-2100		2189 (2127-2538)	1499 (1301-2073)	1068 (1068-1113)	1862 (1732-1862)	983 (772-1390)	1164 (1164-1573)
Dióxico de azufre (MtS/año)	70.9						
2020 2050 2100		87 (60-134) 81 (64-139) 40 (27-83)	100 (62-117) 64 (47-64) 28 (28-47)	60 (60-101) 40 (40-64) 20 (20-27)	100 (80-100) 105 (104-105) 60 (60-69)	75 (52-112) 69 (29-69) 25 (11-25)	61 (61-78) 56 (44-56) 48 (33-48)
Metano, (MtCH4/año)	310						
2020 2050 2100		416 (416-479) 630 (511-630) 735 (289-735)	452 (452-636)	415 (415-466) 500 (492-500) 274 (274-291)	424 (418-424) 598 (598-671) 889 (889-1069)	377 (377-430) 359 (359-546) 236 (236-561)	384 (384-391) 505 (482-505) 597 (465-597)
Óxido nitroso (MtN/año)	6.7						
2020 2050 2100		9.3 (6.1-9.3) 14.5 (6.3-14.5) 16.6 (5.9-16.6)	7.2 (6.1-9.6) 7.4 (6.3-13.8) 7.0 (5.8-15.6)	6.1 (6.1-7.8) 6.1 (6.1-6.7) 5.4 (4.8-5.4)	9.6 (6.3-9.6) 12.0 (6.8-12.0) 16.5 (8.1-16.5)	8.1 (5.8-9.5) 8.3 (5.6-14.8) 5.7 (5.3-20.2)	6.1 (6.1-7.1) 6.3 (6.3-7.5) 6.9 (6.9-8.0)
CFC/HFC/HCFC (equivalentes de MtC/año)b	1672						
2020 2050 2100		337 566 614	337 566 614	337 566 614	292 312 753	291 338 299	299 346 649
PFC (equivalentes de MtC/año) b	32.0						
2020 2050 2100		42.7 88.7 115.3	42.7 88.7 115.3	42.7 88.7 115.3	50.9 92.2 178.4	31.7 42.2 44.9	54.8 106.6 121.3
SF6 (equivalentes de MtC/año) b	37.7	10.0	1000	1000	17001	1112	12110
2020 2050		47.8 119.2	47.8 119.2	47.8 119.2	63.5 104.0	37.4 67.9	54.7 79.2
2100 CO (MtCO/año)	879	94.6	94.6	94.6	164.6	42.6	69.0
2020 2050		1204 (1123-1552)	1032 (1032-1248)	1147 (1147-1160)	1075 (1075-1100)	751 (751-1162)	1022 (941-1022)
2030	1	(1123-1332)	(1032-1246)	(1147-110U)	(10/3-1100)	(131-1102)	(941-1022)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

2100		2159 (1619-2307) 2570 (2298-3766)	1214 (1214-1925) 1663 (1663-2532)	(1244-1770) 2077	(1428-1585) 2326	(471-1470) 363	1319 (1180-1319) 2002 (1487-2002)
COVDM (Mt/año)	139	(2270 3700)	(1003 2332)	(1320 2017)	(2323 2010)	(303 1071)	(1107 2002)
2020		192 (178-230)	222 (194-222)	190 (188-190)	179 (179-204)	140 (140-193)	180 (179-180)
2050		322 (256-322)	279 (259-301)	241 (206-241)	225 (225-242)	116 (116-237)	217 (197-217)
2100		420 (167-484)	194 (137-552)	128 (114-128)	342 (311-342)	87 (58-349)	170 (130-170)
NOx (MtN/año)	30.9						
2020		50 (46-51)	46 (46-66)	46 (46-49)	50 (47-50)	40 (38-59)	43 (38-43)
2050		95 (49-95)	48 (48-100)	61 (49-61)	71 (66-71)	39 (39-72)	55 (42-55)
2100		110 (40-151)	40 (40-77)	28 (28-40)	109 (109-110)	19 (16-35)	61 (34-61)

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

ANEXO 5.2 Ajuste de los datos de precipitaciones anuales a las distribuciones Normal y Gama.

Para ajustar la serie de datos a una distribución, estos tienen que ser agrupados en clases, donde el número de clases es determinado por la regla de Sturges (ec. 5.2.1), posterior a esto se determina el rango de la clase (ec 5.2.2), luego se determina la frecuencia absoluta de la clase, la cual es el número de datos que pertenecen a la clase, después se determinan las frecuencia relativa y la frecuencia relativa acumulada luego se procede a calcular la frecuencia relativa teórica de la distribución con la cual se compara (en nuestro caso una función normal y Gama) y finalmente se calcula el estadístico de K-S.

Número de Clases =
$$1 + 1.33 * log(N)$$
 (ecuación 5.2.1)

Rango de Clase =
$$\frac{\text{Máx - Mín}}{\text{Número de Clases}}$$
 (ecuación 5.2.2)

A continuación se muestran los cálculos realizados.

	La Serena	Vicuña	Rivadavia	Monte Grande	La Laguna
Nº de Clases	6	6	6	6	6
Rango Clase	38,95	49,50	58,10	55,25	77,33
Máximo	240,90	298,20	350,60	331,50	485,00
Mínimo	7,20	1,20	2,00	0,00	21,00
Media	85,21	97,86	99,86	75,86	166,74
Varianza	4351,04	5638,76	7370,80	6230,70	14671,49
Desviación esta.	65,96	75,09	85,85	78,93	121,13
N	40	40	40	39	40

	Distribución Normal (La Serena)										
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Z=(x-u)/s	FO(x)	FOA-FEA				
7,20	46,15	13	0,3250	0,3250	-0,5922	0,2769	0,0481				
46,15	85,10	13	0,3250	0,6500	-0,0017	0,4993	0,1507				
85,10	124,05	4	0,1000	0,7500	0,5888	0,7220	0,0280				
124,05	163,00	3	0,0750	0,8250	1,1794	0,8809	-0,0559				
163,00	201,95	3	0,0750	0,9000	1,7699	0,9616	-0,0616				
201,95	240,90	4	0,1000	1,0000	2,3604	0,9909	0,0091				

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

	Distribución Gamma (1,669 ; 51,063)									
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Fo Gamma	FOA-FEA				
7,20	46,15	13	0,325	0,325	0,3272	-0,0022				
46,15	85,10	13	0,325	0,65	0,6022	0,0478				
85,10	124,05	4	0,1	0,75	0,7794	-0,0294				
124,05	163,00	3	0,075	0,825	0,8820	-0,0570				
163,00	201,95	3	0,075	0,9	0,9384	-0,0384				
201,95	240,90	4	0,1	1	0,9683	0,0317				

	Distribución Normal (Vicuña)										
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Z=(x-u)/s	FO(x)	FOA-FEA				
1,20	50,70	11	0,2750	0,2750	-0,5232	0,2650	0,0100				
50,70	100,20	16	0,4000	0,6750	0,2273	0,5124	0,1626				
100,20	149,70	4	0,1000	0,7750	0,9777	0,7550	0,0200				
149,70	199,20	6	0,1500	0,9250	1,7282	0,9114	0,0136				
199,20	248,70	0	0,0000	0,9250	2,4786	0,9777	-0,0527				
248,70	298,20	3	0,0750	1,0000	3,2291	0,9962	0,0038				

	Distribución Gamma (1,698 ; 57,622)										
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Fo Gamma	FOA-FEA					
1,20	50,70	11	0,275	0,275	0,3074	-0,0324					
50,70	100,20	16	0,4	0,675	0,6136	0,0614					
100,20	149,70	4	0,1	0,775	0,8011	-0,0261					
149,70	199,20	6	0,15	0,925	0,9019	0,0231					
199,20	248,70	0	0	0,925	0,9530	-0,0280					
248,70	298,20	3	0,075	1	0,9779	0,0221					

	Distribución Normal (Rivadavia)										
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Z=(x-u)/s	FO(x)	FOA-FEA				
2,00	60,10	18	0,4500	0,4500	-0,3807	0,3217	0,1283				
60,10	118,20	11	0,2750	0,7250	0,5002	0,5846	0,1404				
118,20	176,30	3	0,0750	0,8000	1,3810	0,8134	-0,0134				
176,30	234,40	5	0,1250	0,9250	2,2618	0,9415	-0,0165				
234,40	292,50	1	0,0250	0,9500	3,1427	0,9876	-0,0376				
292,50	350,60	2	0,0500	1,0000	4,0235	0,9983	0,0017				

	Distribución Gamma (1,353 ; 73,815)									
Lim inf Lim sup F observada F relativa FOA Fo Gamma FOA-FEA										
2,00	2,00 60,10 18 0,45 0,4032 0,0468									

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.

60,10	118,20	11	0,275	0,725	0,6872	0,0378
118,20	176,30	3	0,075	0,8	0,8429	-0,0429
176,30	234,40	5	0,125	0,925	0,9228	0,0022
234,40	292,50	1	0,025	0,95	0,9626	-0,0126
292,50	350,60	2	0,05	1	0,9820	0,0180

Distribución Normal (Monte Grande)								
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Z=(x-u)/s	FO(x)	FOA-FEA	
0,00	55,25	20	0,5128	0,5128	-0,3796	0,3970	0,1158	
55,25	110,50	9	0,2308	0,7436	0,3204	0,6696	0,0740	
110,50	165,75	4	0,1026	0,8462	1,0203	0,8726	-0,0265	
165,75	221,00	4	0,1026	0,9487	1,7203	0,9670	-0,0183	
221,00	276,25	0	0,0000	0,9487	2,4202	0,9944	-0,0457	
276,25	331,50	2	0,0513	1,0000	3,1202	0,9994	0,0006	

I									
	Distribución Gamma (1,353 ; 73,815)								
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Fo Gamma	FOA-FEA			
0,00	55,25	20	0,51282051	0,51282051	0,5275	-0,0147			
55,25	110,50	9	0,23076923	0,74358974	0,7663	-0,0227			
110,50	165,75	4	0,1025641	0,84615385	0,8833	-0,0371			
165,75	221,00	4	0,1025641	0,94871795	0,9414	0,0073			
221,00	276,25	0	0	0,94871795	0,9705	-0,0218			
276,25	331,50	2	0,05128205	1	0,9851	0,0149			

Distribución Normal (La Laguna)								
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Z=(x-u)/s	FO(x)	FOA-FEA	
21,00	98,33	15	0,3750	0,3750	0,1990	0,2861	0,0889	
98,33	175,67	11	0,2750	0,6500	1,3714	0,5294	0,1206	
175,67	253,00	5	0,1250	0,7750	2,5438	0,7618	0,0132	
253,00	330,33	3	0,0750	0,8500	3,7162	0,9116	-0,0616	
330,33	407,67	5	0,1250	0,9750	4,8887	0,9767	-0,0017	
407,67	485,00	1	0,0250	1,0000	6,0611	0,9957	0,0043	

Distribución Gamma (1,895 ; 87,989)								
Lim inf	Lim sup	F observada	F relativa	FOA	Fo Gamma	FOA-FEA		
21,00	98,33	15	0,375	0,375	0,3390	0,0360		
98,33	175,67	11	0,275	0,65	0,6239	0,0261		
175,67	253,00	5	0,125	0,775	0,8031	-0,0281		
253,00	330,33	3	0,075	0,85	0,9017	-0,0517		
330,33	407,67	5	0,125	0,975	0,9525	0,0225		
407,67	485,00	1	0,025	1	0,9775	0,0225		

[&]quot;Cambio Climático: Vulnerabilidad, Adaptación y Rol Institucional. Estudio de Casos en el Valle de Elqui" / C. Pérez / 2005.