



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
UNIDAD DE FISCALIZACIÓN

**PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA  
RESOLUCIÓN (DGA) N°39 DE 1984,  
CRITERIOS PARA CALIFICAR ÉPOCAS DE  
SEQUÍA QUE REVISTAN EL CARÁCTER DE  
EXTRAORDINARIA, ART. 314 DEL CÓDIGO  
DE AGUAS**

**VOLUMEN N° 1**

**REALIZADO POR:**

**DICTUC S. A.**

**S.I.T. N° 203**

**SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2009**



# **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

## **Ministro de Obras Públicas**

Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar C.

## **Director General de Aguas**

Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

## **Jefe Unidad de Fiscalización**

Biólogo Marino Sr. Francisco Riestra M.

## **Inspector Fiscal**

Ingeniero Civil Srta. Carolina Herrera A.



# **EQUIPO TÉCNICO**

**Dictuc S.A.**

## **Jefe de Proyecto**

Ingeniero Civil Sr. Bonifacio Fernández L.

## **Hidrólogo Especialista**

Ingeniero Civil Sr. Jorge Gironás L.

## **Ingenieros de Proyecto**

Ingeniero Civil Srta. Josefina López L

Ingeniero Civil Srta. Mariangel Arratia L.



**PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA  
RESOLUCIÓN (DGA) N°39 DE 1984, CRITERIOS  
PARA CALIFICAR ÉPOCAS DE SEQUÍA QUE  
REVISTAN EL CARÁCTER DE EXTRAORDINARIA,  
ART. 314 DEL CÓDIGO DE AGUAS**

**INFORME FINAL**

**INFORME N°: 870294**

**FECHA: DICIEMBRE 2009**

---

**M.O.P. - DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**



<b>1. Tipo Informe</b> Informe técnico Final	<b>2. Cuerpo del Informe</b> 286 hojas (incluye portada)
<b>3. Título del Proyecto</b> Propuesta de modificación de la resolución (DGA) N°39 de 1984, criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, art. 314 del Código de Aguas	<b>4. Fecha Informe</b> Diciembre , 2009.
<b>5. Autor (es)</b> Jefe de Proyecto: Bonifacio Fernández L. Hidrólogo Especialista: Jorge Gironás Ingenieros de Proyecto: Josefina López L. Mariangel Arratia	<b>6. Contrato</b> Convenio DGA DICTUC 19 de agosto 2009
<b>7. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora</b> DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul – Santiago	<b>8. Período de Investigación</b> agosto 2009 – Diciembre 2009
<b>9. Antecedentes de la Institución Mandante</b> Nombre: M.O.P. Dirección General de Aguas Dirección: Morandé 59, Piso 8 RUT: 61.202.000-02 Teléfono: 4493720 / 4493729 Fax: 4493732	<b>10. Contraparte Técnica</b> Carolina Herrera, DGA.
<b>11. Resumen</b> En este estudio se desarrolla una propuesta para una nueva resolución que reemplace a la vigente actualmente, que a futuro permita calificar épocas de sequía extraordinaria, utilizando más y mejores parámetros a los ya considerados por la Resolución actual de la Dirección General de Aguas (Resolución N°39 de 1984). En el informe se recopila información referida a eventos anteriores de sequía, tanto nacional como internacional, distinguiendo los indicadores y criterios utilizados y que podrían aplicarse en Chile. Se definen los indicadores y los rangos para la determinación de épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, de acuerdo a las variables que caracterizan las distintas zonas del país y los fenómenos climáticos que las afectan. En base a lo anterior se redacta y elabora una propuesta técnica a incorporar en una nueva Resolución, incluyendo la redacción de una propuesta de procedimiento a adoptar por la DGA para períodos antes, durante y después del evento, que incluye: momento de intervención, responsables de su redacción de informes y etapa de cierre de intervenciones, entre otros.	

---

**Sr. Bonifacio Fernández L.**  
**Jefe de Proyecto**

---

**DICTUC S.A.**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL DE SEQUÍAS EN CHILE</b> .....	<b>14</b>
2.1	ASPECTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS.....	14
2.1.1	<i>Artículos 314 y 315 del Código de Aguas</i> .....	14
2.1.2	<i>Resolución N°39 del año 1984</i> .....	16
2.1.3	<i>Procedimiento administrativo existente</i> .....	18
2.1.4	<i>Otros aspectos</i> .....	19
2.2	ANÁLISIS DE CRÍTICAS Y OBSERVACIONES.....	24
2.2.1	<i>Dificultades y ventajas observadas por la DGA</i> .....	24
2.2.2	<i>Dificultades y ventajas adicionales</i> .....	26
<b>3</b>	<b>SITUACIÓN INTERNACIONAL</b> .....	<b>28</b>
3.1	ENFOQUES UTILIZADOS EN PAÍSES DESTACADOS.....	28
3.1.1	<i>Situación en EE.UU.</i> .....	28
3.1.2	<i>Situación en Australia</i> .....	34
3.1.3	<i>España</i> .....	39
3.1.4	<i>Situación en países latinoamericanos</i> .....	44
3.2	ACCIONES Y CRITERIOS DE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL APLICABLES EN CHILE.....	49
<b>4</b>	<b>INDICADORES Y CRITERIOS</b> .....	<b>50</b>
4.1	INDICADORES DE CONDICIONES DE SEQUÍA.....	50
4.1.1	<i>Porcentaje de lo normal</i> .....	50
4.1.2	<i>Deciles</i> .....	50
4.1.3	<i>Índice de Precipitación Estandarizada (SPI o IPE)</i> .....	52
4.1.4	<i>Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI)</i> .....	53
4.1.5	<i>Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI)</i> .....	55
4.1.6	<i>Índice de recuperación de sequías (RDI)</i> .....	56
4.1.7	<i>Índice de Humedad de Cultivos (CI)</i> .....	56
4.1.8	<i>Índice de aridez de UNESCO</i> .....	57
4.1.9	<i>Indicador de Aridez de Palfai (PAI)</i> .....	58
4.2	NECESIDADES PARA SER EMPLEADO EN CONDICIONES REALES.....	59
4.3	CUADRO COMPARATIVO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	60
<b>5</b>	<b>FENÓMENOS COMPLEJOS</b> .....	<b>62</b>
5.1	DEFINICIÓN DE FENÓMENOS COMPLEJOS ENOS.....	62
5.1.1	<i>El niño</i> .....	62
5.1.2	<i>La niña</i> .....	64
5.2	OBSERVACIONES CUANTITATIVAS DE LOS FENÓMENOS E INDICADORES.....	66
5.2.1	<i>Instrumentación y variables explicativas</i> .....	66
5.2.2	<i>Indicadores disponibles para ENSO</i> .....	67

5.3	EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	69
5.4	EFFECTOS DE LOS FENÓMENOS ENSO Y CAMBIO CLIMÁTICO .....	70
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE INFORMACION Y DEFINICIÓN DE INDICADORES.....</b>	<b>71</b>
6.1	VARIABLES QUE PUEDEN CARACTERIZAR SEQUÍAS EN CHILE .....	71
6.2	INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA CARACTERIZAR ESTADOS DE SEQUÍA .....	78
	<b>6.2.1 Datos de precipitaciones en la DGA. ....</b>	<b>82</b>
	<b>6.2.2 Datos de caudales en la DGA.....</b>	<b>87</b>
6.3	CONDICIONES GENERALES PARA LOS INDICADORES A UTILIZAR PARA DETERMINAR LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS .....	92
<b>7</b>	<b>RANGOS Y CATEGORÍAS DE SEQUÍAS .....</b>	<b>95</b>
7.1	SECTORIZACIÓN POR ZONAS Y MACRO ZONAS. ....	95
	<b>7.1.1 Zonas administrativas y sequías meteorológicas. ....</b>	<b>95</b>
	<b>7.1.2 Cuencas y sequías hidrológicas.....</b>	<b>105</b>
7.2	BASE DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE SEQUÍAS. ....	121
7.3	VALORES DE LOS INDICADORES Y SUS CATEGORÍAS. ....	123
	<b>7.3.1 Procedimiento para la estimación del IPE y del ICE.....</b>	<b>124</b>
	<b>7.3.2 Valores de los indicadores IPE e ICE y Categorías de sequías .....</b>	<b>133</b>
	<b>7.3.3 Series temporales de IPE en distintas zonas climáticas. ....</b>	<b>135</b>
	<b>7.3.4 Series de valores de ICE en zonas climáticas .....</b>	<b>143</b>
7.4	PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE INDICADORES .....	153
	<b>7.4.1 Presentación y evaluación del IPE para sequías meteorológicas.....</b>	<b>153</b>
	<b>7.4.2 Presentación y evaluación del ICE para sequías hidrológicas .....</b>	<b>156</b>
7.5	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INDICADORES .....	160
	<b>7.5.1 Efectos ENOS.....</b>	<b>160</b>
	<b>7.5.2 Comparación IPE e ICE con Resolución N°39 de 1984 .....</b>	<b>176</b>
	<b>7.5.3 Valores regionales o por zonas para IPE e ICE.....</b>	<b>213</b>
<b>8</b>	<b>PROPUESTA TÉCNICA PARA UNA NUEVA RESOLUCIÓN.....</b>	<b>228</b>
<b>9</b>	<b>PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS.....</b>	<b>230</b>
9.1	EXPERIENCIA DE LA DGA.....	230
9.2	ASPECTOS GENERALES DEL PROCEDIMIENTO .....	232
9.3	SEGUIMIENTO DE SEQUÍAS .....	233
9.4	PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO .....	233
	<b>9.4.1 Antes del evento de sequía.....</b>	<b>233</b>
	<b>9.4.2 Durante el evento de sequía .....</b>	<b>235</b>
	<b>9.4.3 Después del evento de sequía (y en paralelo con los pasos a seguir antes de un nuevo evento de sequía) .....</b>	<b>236</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO 1: RESOLUCIÓN N° 39 .....</b>	<b>238</b>
<b>11</b>	<b>ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.....</b>	<b>240</b>
<b>12</b>	<b>ANEXO 3: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.....</b>	<b>248</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento ha sido elaborado por la División Ingeniería Hidráulica y Ambiental de DICTUC S.A., como parte del contrato “Propuesta de modificación de la resolución (DGA) N°39 de 1984, criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, art. 314 del Código de Aguas”.

El objetivo general de este estudio es desarrollar una propuesta para una nueva resolución que reemplace a la vigente actualmente, que a futuro permita calificar épocas de sequía extraordinaria, utilizando más y mejores parámetros a los ya considerados por la Resolución actual de la Dirección General de Aguas (Resolución N°39 de 1984).

Los objetivos específicos asociados a la modificación de la resolución son los siguientes

- Recopilar información referida a eventos anteriores de sequía, tanto nacional como internacional, distinguiendo los indicadores y criterios utilizados y que podrían aplicarse en Chile, para así rescatar los aspectos útiles a considerar en una nueva resolución para calificar las épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinarias.
- Definir los indicadores y los rangos para la determinación de épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, de acuerdo a las variables que caracterizan las distintas zonas del país y los fenómenos climáticos que las afectan. Los rangos deben estar divididos por zonas o macrozonas relacionadas con límites administrativos (regiones) físicos o hídricos (cuencas) o climáticos (secano, etc.). Asimismo, determinar los valores de: los indicadores, rangos y sus categorías.
- Redactar y elaborar una propuesta técnica a incorporar en una nueva Resolución.
- Redactar una propuesta de procedimiento a adoptar por la DGA para períodos antes, durante y después del evento, que incluye: momento de intervención, responsables de su redacción de informes y etapa de cierre de intervenciones, entre otros.

## 2 SITUACIÓN ACTUAL DE SEQUÍAS EN CHILE

La administración de los recursos de agua en Chile está regulada por el Código de Aguas, en el cual se indica la forma en que las instituciones del estado participan en la gestión de sequías durante períodos de escasez. En particular los artículos 314 y 315 del Código de Aguas se refieren a las condiciones de extraordinaria sequía. En base a ello en 1984 se publicó la Resolución N°39 que establece criterios técnicos para la identificación de estas condiciones. Desde esa fecha los criterios indicados en esta resolución han sido aplicados para la gestión de los recursos hídricos en condiciones de escasez y se dispone de experiencia para una revisión, en especial con la sequía de fines de 2007 y 2008, durante la cual la DGA ha documentado y analizado los procedimientos empleados. A continuación se presentan y analizan los artículos pertinentes del Código de Aguas, la Resolución N°39 y los antecedentes disponibles sobre su aplicación en el caso de sequías recientes.

### 2.1 Aspectos legales y administrativos

#### 2.1.1 Artículos 314 y 315 del Código de Aguas

El Decreto con Fuerza de Ley Número 1112, Código de Aguas, del año 1981, establece en sus artículos 314 y 315, relacionados con el tema de sequías extraordinarias, lo siguiente:

*Art. 314. El Presidente de la República, a petición o con informe de la Dirección General de Aguas, podrá, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez por períodos máximos de seis meses, no prorrogables.*

*La Dirección General de Aguas calificará, previamente, mediante resolución, las épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinarias.*

*Declarada la zona de escasez, y no habiendo acuerdo de los usuarios para redistribuir las aguas, la Dirección General de Aguas podrá hacerlo respecto de las disponibles en los cauces naturales, para reducir al mínimo los daños generales derivados de la sequía. Podrá, para ello, suspender las atribuciones de las juntas de vigilancia, como también los seccionamientos de las corrientes naturales que estén comprendidas dentro de la zona de escasez.*

*Una vez declarada la zona de escasez y por el mismo período señalado en el inciso primero de este artículo, la Dirección General de Aguas podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas desde cualquier punto sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas y sin la limitación del caudal ecológico mínimo establecido en el artículo 129 bis 1. También podrá otorgar cualquiera de las autorizaciones señaladas en el Título I del Libro Segundo de este Código.*

*Para los efectos señalados en los incisos anteriores, y lo dispuesto en el artículo siguiente, la Dirección General de Aguas adoptará las medidas sin sujeción a las normas establecidas en el Título I del Libro Segundo de este Código.*

*Los decretos supremos y las resoluciones de la Dirección General de Aguas que se dicten en virtud de las facultades conferidas en los incisos anteriores, se cumplirán de inmediato, sin perjuicio de la posterior toma de razón por la Contraloría*

*General de la República.*

*Todo aquel titular de derechos que reciba menor proporción de aguas que la que le correspondería de conformidad a las disponibilidades existentes, tendrá derecho a ser indemnizado por el Fisco.*

*Esta declaración de zona de escasez no será aplicable a las aguas acumuladas en embalses particulares.*

**Art. 315.** *En las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios, de acuerdo con las disposiciones de este Código, la Dirección General de Aguas podrá, a petición de parte, hacerse cargo de la distribución en zonas declaradas de escasez.*

*En tal caso, las personas designadas con dicho objeto por la Dirección actuarán con todas las atribuciones que la ley confiere a los directores o administradores de dichos organismos, según corresponda, siendo aplicable lo dispuesto en el artículo 275.*

Los artículos citados del Código de Aguas son Ley, de manera que la resolución debe orientarse a cumplirlos, destacándose desde el punto de vista del interés en la gestión de los recursos en épocas de escasez lo siguiente:

- Permite tomar acciones rápidamente
- Se indica que los períodos de escasez pueden ser declarados por un máximo de seis meses, no prorrogables. Esto limita la duración de las sequías extraordinarias de manera administrativa a tiempos máximos estrictos.
- Al indicar que todo usuario que reciba una menor proporción que la que le corresponde tendrá derecho a indemnización, se estaría limitando la redistribución o distribución a un reparto proporcional entre los usuarios a menos que se proceda a indemnizar a quienes reciben menos.
- Se autoriza la extracción de aguas tanto superficiales o subterráneas desde cualquier punto y sin la necesidad de constituir derecho y sin limitación del caudal ecológico mínimo establecido.
- Debido a las autorizaciones señaladas en el Título I del Libro Segundo del Código de Aguas, también podrá otorgar autorizaciones de obras (construcción, modificación cambio y unificación de obras), modificación de cauces naturales o artificiales.
- La persona designada para ejercer las facultades y atribuciones establecidas en el artículo 315 podrá ejercer las atribuciones del art.274 del Código de Aguas confiere a los directores de las juntas de vigilancia.

### 2.1.2 Resolución N°39 del año 1984

Esta resolución da cumplimiento a lo indicado en el artículo 314, que en su segundo párrafo (*La Dirección General de Aguas calificará, previamente, mediante resolución, las épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinarias*) asigna a la DGA la tarea de establecer los criterios para determinar la ocurrencia de una sequía de carácter extraordinario. Dictada en 1984, establece los indicadores y criterios que permiten definir las condiciones hidrológicas de las que se pueden derivar situaciones de sequía extraordinarias, en las diferentes regiones del país. En Anexo 1 se incluye una copia de esta resolución.

La resolución N°39 señala como parámetros hidrológicos a utilizar las precipitaciones y caudales medidos en estaciones de observación controladas por la Dirección General de Aguas u otra institución oficial encargada de hacer mediciones hidrometeorológicas. Los indicadores y criterios se definen para cada región del país de acuerdo a lo siguiente:

- *En las regiones I y II, la condición será que el caudal de los ríos sea inferior al 70% del caudal con probabilidad de excedencia 50% durante 3 meses consecutivos.*
- *En las regiones III y IV, las condiciones serán:*
  - a) *La precipitación acumulada a partir del mes de Abril sea inferior al 50% del valor medio estadístico, y*
  - b) *Que el caudal medio mensual de los ríos sea inferior al 50% del caudal con probabilidad de excedencia 50 del mismo mes.*
- *En las regiones V, Metropolitana, VI y VII, las condiciones serán:*
  - a) *La precipitación acumulada a partir del mes de Abril sea inferior al 70% del valor medio estadístico.*
  - b) *Las precipitaciones acumuladas a partir del mes de Septiembre, tengan un período de retorno de 10 años.*
  - c) *El caudal medio mensual de los ríos sea inferior al 70% del caudal medio estadístico del mismo mes.*
- *En las regiones VIII, IX y X, las condiciones serán:*
  - a) *La precipitación acumulada a partir del mes de Mayo, sea inferior al 70% del valor medio estadístico.*
  - b) *La precipitación acumulada a partir del mes de Octubre, tenga un período de retorno de 10 años.*
  - c) *El caudal medio mensual de los ríos, sea inferior al 70% del caudal medio estadístico del mismo mes.*
- *En las regiones XI y XII, la condición será que las precipitaciones acumuladas en un período de 3 meses consecutivos, sea inferior al 70% del medio estadístico.*

En esta resolución se utilizan diferentes indicadores y criterios para cada una de las cinco zonas climáticas consideradas en la Res 39 de 1984, en las que el comportamiento de los recursos hídricos en condiciones de escasez sería diferente. En una de ellas se utilizan como

parámetros sólo los caudales (regiones I y II), y en otra solo las precipitaciones (regiones XI y XII). En el resto se emplean caudales y/o precipitaciones, y en dos zonas existen dos criterios que utilizan precipitaciones (zona de las regiones V, VI, VII y XIII y zona de las regiones VIII, IX y X). Los indicadores, por otra parte, corresponden a valores representativos de estos parámetros, relativamente fáciles de medir, como son precipitaciones acumuladas y caudales medios mensuales. Finalmente, los criterios son en general un cierto porcentaje del valor medio estadístico y sólo en un par de ellos se menciona el valor con un determinado período de retorno.

Actualmente, en el cálculo de las medias estadísticas se utiliza la normativa internacional de meteorología, por lo cual se calculan los valores medios mensuales de 30 años; de no contarse con esta serie de datos se calcula el valor medio estimando el promedio de los valores que se dispongan.

La Tabla 1 muestra un resumen comparado de los parámetros, indicadores y criterios utilizados en esta resolución.

Tabla 1: Parámetros, indicadores y criterios empleados en la resolución N°39 para calificar condiciones de sequía extraordinaria

Región	Parámetros (1)	Indicadores	Criterios	Observaciones
I y II	Caudales	Valor durante 3 meses consecutivos	Inferior a $0,70Q_{50}$	
III y IV	Precipitaciones	Valor acumulado a partir de Abril	Inferior a $0,50P_m$	Basta que cumpla con uno de estos aspectos.
	Caudales	Caudal medio mensual	Inferior a $0,50Q_{50}$	
V, VI, VII y Metropolitana	Precipitaciones	Valor acumulado a partir de abril	Inferior a $0,70P_m$	Basta que cumpla con uno de los aspectos. Basta un mes en el caso de caudales
		Valor acumulado a partir de septiembre	Inferior a $P_{10\text{años}}$	
	Caudales	Valor medio mensual	Inferior a $0,70Q_m$	

(1) Se refiere siempre a valores medidos en estaciones controladas por la DGA u otra institución oficial.

Región	Parámetros (1)	Indicadores	Criterios	Observaciones
VIII, IX y X	Precipitación	Valor acumulado a partir de mayo	Inferior a $0,70P_m$	Basta que cumpla con uno de los aspectos. Basta un mes en el caso de caudales
		Valor acumulado a partir de octubre	Inferior a $P_{10\text{años}}$	
	Caudales	Valor medio mensual	Inferior a $0,70Q_m$	
XI y XII	Precipitaciones	Valor acumulado en 3 meses consecutivos	Inferior a $0,70P_m$	

(1) Se refiere siempre a valores medidos en estaciones controladas por la DGA u otra institución oficial.

### 2.1.3 Procedimiento administrativo existente

El procedimiento adoptado por la DGA para la aplicación práctica de esta resolución considera lo siguiente: A partir de lo que estipula la Resolución N°39 y los artículos 314 y 315 del Código de Aguas, se inicia con la selección de estaciones con un tiempo de registro significativo (30 años) de caudal y precipitaciones, que representen lo más adecuadamente posible las características de la zona o región a estudiar. Con estos datos se obtienen los indicadores de precipitación y caudal, los cuales son comparados con los valores de los parámetros en los meses de interés considerados como indicadores de condiciones de escasez. Esta tarea la realiza el Departamento de Hidrología de la DGA, el cual emite un informe que resume la información pluviométrica y fluviométrica de las cuencas de interés, determinándose los indicadores pertinentes para cada región según lo indicado por la Resolución N°39. Con el respaldo de este informe se genera el informe “Calificación de cuencas en situación de extraordinaria sequía” que dan cuenta de la situación hidrológica de las zonas consideradas y, si la situación lo amerita, el Director General de Aguas propone por oficio al Sr. Ministro de OO.PP., quien, por el DS 19 del 2001 tiene la atribución delegada del Presidente en el ministro de declarar zonas de escasez, la necesidad de declarar zonas de escasez en las cuencas afectadas por una sequía de carácter extraordinaria y en las cuales se pueda tomar medidas para amortiguar y mejorar las condiciones de escasez. Los decretos emitidos pueden abarcar cuencas, provincias y comunas según sea el caso.

Una vez emitida esta declaración, la DGA puede intervenir en la distribución<sup>1</sup> o redistribución<sup>2</sup> de las aguas, de acuerdo al que sea el caso. Estas intervenciones se realizan previa solicitud de asociaciones de canalistas, juntas de vigilancia, propietarios de derechos de

<sup>1</sup> Distribución: De acuerdo al Código de Aguas en su artículo 315, *En las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios, de acuerdo con las disposiciones de este código, la Dirección General de Aguas, podrá, a petición de parte, hacerse cargo de la distribución en zonas declaradas de escasez.*

<sup>2</sup> Redistribución: Conforme a necesidades de los usuarios y considerando que el Código de aguas en artículo 314 señala que *Todo aquel titular de derechos que reciba menor proporción de aguas que la que le correspondería de conformidad a las disponibilidades existentes, tendrá derecho a ser indemnizado por el Fisco.*

aprovechamientos aguas, autoridades locales, etc.

El Código establece, de acuerdo al art.17, que: *“Los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente facultan para usar el agua en la dotación que corresponda, salvo que la fuente de abastecimiento no contenga la cantidad suficiente para satisfacerlos en su integridad, en cuyo caso el caudal se distribuirá en partes alícuotas”*, en cambio los derechos eventuales, de acuerdo al art.18 del citado Código, *sólo facultan para usar el agua en épocas en que el caudal matriz tenga un sobrante después de abastecidos los derechos de ejercicio permanente*. Además una vez que se declare zonas de escasez en épocas de extraordinaria sequía, y si no hubiera acuerdo entre los usuarios para redistribuir las aguas, la DGA puede hacerlo, pero solo con aguas de cauces naturales de uso público. Esta declaración no es aplicable a las aguas almacenadas en embalses particulares.

El artículo 314 ordena que, una vez declarada la zona de escasez y por el mismo decreto o resolución, la Dirección General de Aguas podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas desde cualquier punto, por el mismo período señalado en el numeral primero de este decreto, sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas y sin la limitación del caudal ecológico mínimo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas. También podrá otorgar cualquiera de las autorizaciones señaladas en el Título I del Libro Segundo de la mencionada codificación: la construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas, el cambio de fuente de abastecimiento, el traslado del ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y las modificaciones en cauces naturales y artificiales.

Los decretos supremos y las resoluciones de la DGA que se dicten según el Artículo 314, se cumplirán de inmediato, sin perjuicio de la posterior toma de razón por la Contraloría General de la República.

#### **2.1.4 Otros aspectos**

Adicionalmente a las acciones que adopta la DGA para enfrentar la situación de escasez de recurso hídrico, el Estado también actuó en otras áreas en condiciones de escasez, principalmente en los sectores de la economía que pueden quedar afectados por las sequías como son los sistemas de agua potable rural, la agricultura y la energía. Otros sectores menos relevantes quedan involucrados a través de comités interministeriales. A continuación se exploran algunos de estos aspectos, desde el punto de vista del aporte de cada uno de los organismos.

##### **a.- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas.**

En el Ministerio de Obras Públicas, la DOH es responsable del Programa de Agua Potable Rural en el país y de la planificación y diseño de obras de riego.

En relación al Programa de Aguas Potable Rural, y dada la magnitud y gravedad del problema provocado en el abastecimiento de aguas por sequía en fuentes subterráneas y superficiales, acorde a lo señalado en el DFL MOP N°850 / 1997, DS N°19 / 2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y la Resolución N°520 / 1996 de Contraloría General de la República, declara *“de emergencia las obras de agua potable rural señaladas y establece normas de contratación”*, a fin de contratar Unidades Técnicas para preparar, elaborar y gestionar todas las actividades relacionadas con licitar, adjudicar, contratar, inspección técnica y la liquidación de los contratos, de las obras de emergencia en los sistemas de Agua

Potable Rural señalados en el Decreto, para sistemas con abastecimiento intermitente. Además solicita la autorización a la DGA para extraer aguas superficiales o subterráneas en zonas que son declaradas de escasez hídrica, para sistemas sin abastecimiento con decreto, si lo estima necesario.

Por otra parte la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP también, puede planificar y diseñar obras especiales para abastecer de agua a sectores de riego con complicaciones mayores, en zonas declaradas de escasez hídrica, para lo cual solicita a la DGA autorización para extraer aguas superficiales o subterráneas.

#### **b.- Ministerio de Agricultura**

Por Decreto 81 del 29 de agosto de 2008 del Ministerio de Agricultura se creó la Comisión Asesora Nacional de Emergencias Agrícolas y gestión del Riesgo Climático en el Ministerio de Agricultura, cuyos objetivos son:

- Apoyar la gestión ministerial de las emergencias agrícolas y del riesgo agroclimático dentro de los lineamientos programáticos y el quehacer normal del Ministerio y de los organismos relacionados.
- Promover, mediante instrumentos de corto, mediano y largo plazo, la incorporación del riesgo agroclimático a la gestión responsable de los agronegocios.
- Apoyar la evaluación del riesgo agroclimático y de fenómenos extremos.
- Promover medidas de disminución del riesgo general y predial.
- Colaborar en la mitigación del daño y en la forma de enfrentar la emergencia.
- Favorecer la generación de sistemas de información y soporte de decisiones.

A esta Comisión se le asignan las siguientes funciones:

- Proponer a la Ministra de Agricultura medidas adecuadas para el manejo del riesgo derivado de fenómenos climáticos o de otra naturaleza, que afecten las actividades silvoagropecuarias.
- Asistir técnicamente en la definición de planes ministeriales, con adaptación regional, para la reducción de los daños causados por emergencias agrícolas y sus implicancias presupuestarias.
- Colaborar en la fijación de criterios y protocolos para la declaración de zonas en emergencia agrícola.
- Servir de instancia de coordinación entre el Minagri y organismos públicos y privados vinculados a su competencia.
- Coordinar la creación de instancias especiales para el tratamiento de materias específicas de su competencia.

Recientemente, el 25 de febrero de 2009, mediante Resolución Exenta N°54, el mismo ministerio de Agricultura establece la Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y de Gestión del Riesgo Agroclimático, con las siguientes funciones:

- Actuar como unidad funcional y Secretaría Ejecutiva de la Comisión Asesora Nacional de Emergencia Agrícolas
- Implementar las medidas y decisiones adoptadas por la Comisión Asesora

#### Nacional de Emergencia Agrícolas

- Implementar un sistema de información pública agrometeorológica y sobre riesgos y alertas tempranas de emergencias agrícolas
- Gestionar la ejecución de instrumentos especialmente dispuestos y desarrollados para emergencias agrícolas
- Proponer planes ministeriales, con adaptación regional, para la reducción de los riesgos y daños causados por emergencias agrícolas
- Gestionar el procedimiento de declaración de emergencias agrícolas.
- Coordinar, realizar el seguimiento, apoyar y evaluar la aplicación de políticas, estrategias y medidas destinadas a gestionar el riesgo agroclimático y de las emergencias agrícolas, especialmente a nivel nacional.
- Mantener coordinación con los organismos del Estado y del sector privado vinculados a su campo de acción.
- Presentar a la Comisión Asesora Nacional el Plan de Trabajo Anual y su presupuesto y encargarse de su implementación, una vez aprobado.
- Constituir y coordinar instancias especiales en los niveles nacional y regional para el tratamiento de temáticas específicas propias de su competencia.
- El Ministro de Agricultura designa a un profesional de su dependencia en la función de Encargado Nacional de Emergencias Agrícolas y gestión del Riesgo Agroclimático, quien encabeza esta Unidad.

En términos prácticos el Ministerio de Agricultura mediante Resolución Exenta, en las comunas donde existen efectos sobre la actividad silvoagropecuaria (forestación, cultivos y ganadería), comprometiendo las actividades económicas de pequeños y medianos productores, y afectando a habitantes rurales, según facultades de la Ley de Presupuesto, declara la “*situación de emergencia agrícola*”, a fin de ir en ayuda de los pequeños productores agrícolas y habitantes rurales con los instrumentos disponibles dentro del Ministerio de Agricultura para los usuarios INDAP.

#### **c.- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.**

En este Ministerio recae uno de los sectores de la economía afectados por las sequías como es el energético, principalmente por las consecuencias sobre la hidroelectricidad, la cual es regulada por la Ley General de Servicios Eléctricos, en la que se indica:

*Artículo 163°.- El Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, previo informe de la Comisión Nacional de Energía, podrá dictar un decreto de racionamiento, en caso de producirse o proyectarse fundadamente un déficit de generación en un sistema eléctrico, a consecuencia de fallas prolongadas de centrales eléctricas o de situaciones de sequía. El decreto que se dicte, además de establecer los cálculos, valores y procedimientos a que se refiere el inciso séptimo de este artículo, dispondrá las medidas que, dentro de sus facultades, la autoridad estime conducentes y necesarias para evitar, manejar, disminuir o superar el déficit, en el más breve plazo prudencial. Dichas medidas se orientarán, principalmente, a reducir los impactos del déficit para los usuarios, a incentivar y fomentar el aumento de capacidad de generación en el respectivo sistema, a estimular o premiar el ahorro voluntario y a aminorar los costos*

*económicos que dicho déficit pueda ocasionar al país.*

*El déficit registrado en el sistema deberá distribuirse proporcionalmente y sin discriminación de ninguna especie entre todas las empresas generadoras, tomando como base la globalidad de sus compromisos. Estas, por su parte, deberán pagar a sus clientes distribuidores o finales sometidos a regulación de precios, cada kilowatt-hora de déficit que los haya afectado, determinado sobre la base de sus consumos normales, a un valor igual a la diferencia entre el costo de racionamiento y el precio básico de la energía, a los que se refiere el artículo anterior.*

*Para estos efectos se entenderá como consumo normal de un cliente en un período, aquel que resulte de considerar el consumo de energía facturado por el generador en el mismo período del último año sin racionamiento, incrementado en la tasa anual de crecimiento del consumo que se hubiere considerado en la previsión de demandas de energía para el sistema eléctrico, en la última fijación de precios de nudo a que se refiere el artículo 162°. Los clientes distribuidores, a su vez, deberán traspasar íntegramente el monto recibido a sus clientes finales sometidos a regulación de precios.*

*Para los efectos de este artículo, las situaciones de sequía o las fallas de centrales eléctricas que originen un déficit de generación eléctrica que determine la dictación de un decreto de racionamiento, en ningún caso podrán ser calificadas como fuerza mayor o caso fortuito. En particular, los aportes de generación hidroeléctrica que correspondan a años hidrológicos más secos que aquellos utilizados en el cálculo de precios de nudo a que se refiere el artículo 162°, no constituirán límite para el cálculo de los déficit, ni serán consideradas como circunstancia de fuerza mayor o caso fortuito. El déficit que las empresas generadoras están obligadas a pagar, de conformidad a este artículo, no estará limitado a aquel que se calcule para el primer año hidrológico de la sequía. Por año hidrológico se entiende un período de doce meses que comienza en abril. Tampoco se considerarán fuerza mayor o caso fortuito, las fallas de centrales a consecuencia de restricciones totales o parciales de gas natural provenientes de gaseoductos internacionales.*

*En todo caso, el ejercicio de acciones jurisdiccionales no obstará al pago de las compensaciones previstas en los incisos anteriores.*

*En los casos no previstos en el inciso cuarto, la empresa generadora respectiva podrá solicitar a la Superintendencia que efectúe la declaración prevista en el N° 11, del artículo 3°, de la ley orgánica de dicho servicio, para que compruebe si el déficit del sistema se ha debido a caso fortuito o fuerza mayor. La Superintendencia deberá pronunciarse en el plazo máximo de diez días. La impugnación judicial se sujetará al procedimiento establecido en el artículo 19 de la ley N° 18.410.*

*El decreto de racionamiento previsto en este artículo, además de las medidas y estipulaciones descritas en los incisos anteriores, explicitará, basándose en un informe previo de la Comisión Nacional de Energía, el monto del pago por cada kilowatt-hora de déficit, como asimismo las demás condiciones que deberán aplicar las empresas generadoras para el cálculo o registro de los déficit, y los montos y procedimientos que aplicarán las empresas distribuidoras para traspasar a su vez los montos recibidos a sus clientes finales. Todos los cálculos deberán basarse en los valores utilizados en la última fijación de precios de nudo a que se refiere el artículo 162° para el sistema*

*eléctrico en cuestión. No obstante, el valor a utilizar para el costo de racionamiento no podrá superar, expresado en unidades de fomento, el promedio de los costos de racionamiento utilizados en las últimas seis fijaciones de precios de nudo.*

*Las transferencias de energía que se produzcan en un CDEC, resultantes de la dictación de un decreto de racionamiento, también se valorizarán al costo marginal instantáneo aplicable a las transacciones de energía en el sistema, el que en horas de racionamiento equivale al costo de falla.*

#### **d.- Oficina Nacional de Emergencias-Ministerio del Interior.**

La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI, tiene como misión planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocados por la acción humana, a través de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil para la protección de las personas, los bienes y el ambiente.

Para desarrollar su labor ha generado un Plan Nacional de Protección Civil, de acuerdo al Decreto N°156 del 12 de marzo de 2002. En la presentación de este plan se menciona a las sequías como uno de los ejemplos de desastres naturales que pueden ser abordados mediante este plan, y las clasifica como fenómenos naturales de manifestación lenta que tiene efectos multisectoriales.

En Anexo sobre Mandos técnicos, de coordinación y de autoridad, vuelve a referirse al tema de sequías indicando a modo ejemplar sobre los mandos técnicos: *“Para el caso de la sequía las acciones iniciales son abordadas por organismos técnicos del sector Agricultura separadamente. Al detectarse la necesidad de abordar el problema más integralmente, se crea una instancia sectorial denominada Comisión Sequía, que puede cumplir acciones concretas con respecto a un mejor aprovechamiento del recurso agua en el sector, forraje, créditos, etc”*

En relación a instancias de coordinación indica, también a modo de ejemplo, sobre las instancias de coordinación: *“Según el mismo ejemplo de la sequía, se detecta que pese a los esfuerzos y acciones que realiza la Comisión Sequía, el problema de fondo está en el recurso Agua, que no sólo afecta al sector agricultura en su globalidad, sino también a la personas fuera del sector y también a fuentes generadoras de energía. El sector agricultura no puede resolver el problema del agua, por lo tanto adquiere relevancia el Sector Obras Públicas. Esta situación hace sugerir que la instancia de trabajo pase a ser una Comisión Multisectorial, liderada por el sector agricultura (Mando Técnico) conjuntamente o con el apoyo directo del sector Obras Públicas. Aquí se requiere la constitución de la instancia de Coordinación - ONEMI- que maneje la información global y se establezca una relación con otros sectores y la Autoridad, en este caso, Ministro del Interior.”*

#### **e.- Comités interministeriales.**

También es necesario indicar que mediante instructivo presidencial, para la sequía de los años 2007, 2008 y 2009, se constituyó el Comité Interministerial para la Sequía, CIES, el cual se crea por la urgencia de coordinar y aplicar inmediatamente normas administrativas y económicas para paliar efectos y consecuencias de las sequías. Para ello se nombró al Ministro del Interior como Presidente, el Director General de Aguas como Secretario Ejecutivo e integrado por representantes del Ministro de Agricultura, del presidente de la CNE, el ministro de Hacienda, de Obras Públicas, de Planificación y del presidente de la CONAMA.

Este Comité es apoyado por un Grupo Interministerial de Coordinación Técnica y tiene como

integrantes al Director de Obras Hidráulicas, Director General de Aguas, Secretario Ejecutivo Comisión Nacional de Riego, Directora ONEMI, Director Nacional Instituto Desarrollo Agropecuario, Gerente General CORFO, Secretario Ejecutivo CNE, Superintendente Electricidad y Combustibles, Superintendente Servicios Sanitarios, Director Ejecutivo CONAMA, Director Dirección Meteorológica de Chile. Además, en la última situación de sequía se consideró necesario que se integraran otros servicios en dicho grupo: DIRPLAN MOP, Min. Hacienda, SERCOTEC, FOSIS, Min. Salud, Min Educación, entre otros.

Finalmente aparecen Comités regionales para la Sequía cuyo presidente es el Intendente Regional, secretario el Director Regional de Aguas u otro y tiene como integrantes a Seremis MOP, Seremi Agricultura, Directores de Servicio: DOH, DGA, INDAP, CORFO, SERCOTEC, FOSIS, SAG, CONAF, Secretario Ejecutivo CNR, ONEMI, entre otros.

## **2.2 Análisis de críticas y observaciones**

La Resolución N° 39 ha estado vigente durante los últimos 25 años, de manera que su aplicación en situaciones reales ha podido ser evaluada en varias ocasiones frente a condiciones de escasez de recursos prácticamente en todo el territorio nacional. En particular durante las condiciones de escasez de fines de 2007 y 2008 la DGA ha emitido informes técnicos y ha documentado las intervenciones de manera detallada, lo que permite hacer un análisis de los aspectos favorables y los inconvenientes de la actual resolución.

### **2.2.1 Dificultades y ventajas observadas por la DGA**

De una visión general sobre la resolución se destacan los siguientes aspectos:

- No aparece explícita una definición de sequía extraordinaria para definir un criterio unificador de la resolución. Se supone que este carácter es similar y uniforme en todas las regiones.
- Se utiliza una división climática y administrativa por regiones para definir los parámetros a emplear en la calificación, de manera que los criterios se aplican dentro de los límites indicados.
- Aparecen muchas ambigüedades al momento de aplicar los criterios para estimar los indicadores ya que no se sabe si se utilizan una, varias o todas las estaciones disponibles para el cálculo.
- En algunos casos se considera solo precipitación o sólo caudal y en otros precipitación y caudal.

En la aplicación del procedimiento durante el año 2008, la DGA ha elaborado una lista de observaciones a la metodología existente y a los aspectos que debieran ser mejorables de la actual resolución y normativa general para enfrentar la sequía. Específicamente, en la presentación elaborada al respecto por la DGA, Gestión de Sequías desde la Dirección General de Aguas<sup>3</sup> se mencionan los siguientes puntos:

<sup>3</sup> Rojas, E. y Herrera, C. 2008. Gestión de Sequías desde la Dirección General de Aguas. Documento interno PowerPoint, Septiembre, DGA MOP.

- En general se considera que la actual resolución permite mediante criterio hidrológico (caudal) y meteorológico (precipitación) determinar épocas de extraordinaria sequía, y junto a ella, zonas con escasez hídrica. Este criterio es simple, pero no realista. No es posible aplicarla sin recurrir a otros factores que también se ven relacionados.
- Los criterios presentes en la actual resolución consideran que:
  - La oferta sólo proviene de las precipitaciones y los caudales.
  - No incluye acciones tendientes a evitar impactos.
  - Sólo seis meses para que la DGA tome acciones frente a una extraordinaria sequía.
  - Es simplista sobre las reales causas y efectos de una sequía.
  - Permite tomar acciones rápidamente (coyunturales).
- Por otra parte hay varias consideraciones ausentes:
  - No se refiere en nada a los acuíferos (gran uso en la zona norte).
  - Ni a los embalses (importancia en zona norte, centro y centro sur).
  - No toma en cuenta fenómenos especiales como La Niña (pronosticable, DMC).
  - No considera aspectos ambientales (caudales ecológicos, caudales de dilución y Riles, etc.).
  - No vincula el trabajo conjunto con otros sectores. Complementación de información proveniente de otras instituciones.
  - No considera otras declaraciones de emergencia (Ej. emergencia agrícola, APR en emergencia, etc.)
  - No se considera el concepto de oferta y demanda para la definición de sequías.
  - No considera conflictos entre usuarios (agua potable, riego, hidroeléctricas, bebida de animales, etc.).
  - No considera tendencias en las precipitaciones y caudales antes de la crisis ni con posterioridad a la declaración.

En base a lo anterior en este análisis realizado por la DGA se plantea considerar lo siguiente en la modificación de la Resolución a desarrollar:

- Las atribuciones de la DGA en zonas declaradas con escasez hídrica extraordinaria.
- El papel de la DGA en la protección de los usuarios, lo que conduciría a dar prioridad al abastecimiento de agua potable
- La necesidad de contar con nuevos criterios que se ajusten a la real ocurrencia de los eventos extraordinarios de sequía considerando la pertinencia y consistencia de ellos.
- La existencia de sectores prioritarios: agua potable, agropecuario, hidroeléctrico.
- La necesidad de una planificación permanente (monitoreo, alertas, propuesta de mejores prácticas en caso de sequías, canales de comunicación periódicos, inclusión de otros sectores, entre otros.

### **2.2.2 Dificultades y ventajas adicionales**

Un análisis de las condiciones en las cuales se da la administración de recursos hídricos en Chile frente a condiciones de escasez conduce a observaciones relacionadas con aspectos generales de enfoque y organización, otros ligados a la forma en que se enfrenta el problema desde el punto de vista legal y finalmente aspectos normativos ligados a la Resolución misma.

#### **a.- Aspectos generales**

En Chile el tema de las sequías se enfrena con un enfoque de emergencias, una vez que se detectan situaciones extraordinarias, de manera similar a lo que ocurre con otros fenómenos naturales y catástrofes. Se busca identificar la situación de emergencia para gatillar a partir de ella un conjunto de acciones para enfrentarla. Por otra parte las acciones que se pueden adoptar están preestablecidas en la Ley, Art. 314 y 315 del Código de Aguas, y son limitadas. Este enfoque era común internacionalmente a mediados del siglo XX. Sin embargo la mayoría de los países que enfrentan problemas de sequías recurrentes, EEUU, Australia, y muchos países europeos, han modificado este enfoque para abordar el problema de las sequías con mayor anticipación, tratando de prepararse antes que se den condiciones extraordinarias. Así entonces, en estos países las sequías han dejado de ser consideradas como desastres naturales frente a los cuales se tiene una acción netamente reactiva, y han pasado a ser consideradas como eventos a enfrentar proactivamente que deben ser asimilados en la planificación y gestión de las actividades socio-económicas afectadas.

Al abordar las sequías solo como situaciones de emergencia en condiciones extraordinarias se desconoce que las sequías se desarrollan lentamente, lo que hace difícil fijar un inicio de ellas en situaciones particulares mientras están en desarrollo y anticiparse a los efectos de la misma, debido al escaso seguimiento de las condiciones previas al fenómeno. Esto conduce a una cierta inacción del sistema ya que siempre se está ante la disyuntiva de que el fenómeno se revierta y no se alcancen a dar las condiciones extraordinarias. Por otra parte las situaciones extraordinarias son detectadas por el conjunto de los usuarios del sistema con criterios diferentes a los que debe usar la autoridad para definir las, lo que hace que el método sea necesariamente reactivo y no proactivo.

Además de las obligaciones que el Código de Aguas indica para la DGA, hay otros cuerpos legales que facultan a otros organismos y se utilizan para enfrentar condiciones de sequías. Entre ellos está especialmente el Ministerio de Agricultura y la Comisión Nacional de Energía que en sus propios ámbitos adoptan acciones para enfrentar condiciones de escasez. La formación de comisiones de carácter temporal para coordinar acciones en el ámbito público a nivel nacional, regional y local es otro de las reacciones frente a las sequías. Estas se forman y disuelven en la medida en que aparecen y se terminan las emergencias y son siempre una reacción para casos particulares.

#### **b.- Aspectos legales**

El Código de Aguas se refiere exclusivamente a la participación de la DGA en relación a las sequías, indicando que en caso de sequía extraordinaria solo puede intervenir en la distribución y redistribución de aguas superficiales en los cauces. Los mecanismos para definir una sequía extraordinaria se fijan mediante Resolución de la DGA. En este sentido el Código deja libre la definición de sequía extraordinaria, lo que es una ventaja para la participación de la DGA en el tema. Es decir mediante resolución propia la DGA puede

proponer un nivel de escasez para identificar sequías extraordinarias.

Un aspecto complejo es el hecho que el Código fija un límite temporal para la duración de las acciones sobre los efectos de las sequías extraordinarias arbitrariamente en seis meses, sin posibilidades de renovación. Si bien es razonable que se fije un límite para la intervención o la existencia de condiciones extraordinarias, es absurdo pensar que en el caso de sequías éste sea de solo seis meses para cualquier situación y en cualquier parte del territorio nacional.

También resulta paradójico el hecho que para definir las condiciones de sequía solo se pueden considerar los recursos superficiales, quedando fuera de consideración los subterráneos, nieves y aguas almacenadas en embalses. Quizás en la situación actual deba separarse el hecho de que se faculta a la DGA para intervenir solo en los cauces y recursos superficiales, pero ello no necesariamente indica que la definición de sequía extraordinaria y las acciones de la DGA no puedan considerar otras fuentes de recursos hídricos y otras demandas como las de agua potable y ambientales.

### **c.- Aspectos resolutivos**

Los problemas que plantea la Resolución para una eficiente gestión de condiciones de escasez son al parecer los más simples de solucionar. Es posible también que a través de ella se puedan abordar aspectos condicionados por el Código de Aguas, como es el enfoque general con que se enfrenta el tema en la actualidad.

Uno de los aspectos esenciales que deben definirse es a qué se refiere el término de sequía extraordinaria y la forma en que se debe abordar su identificación, en el sentido de si debe preverse para detectarla en cuanto se convierte en extraordinaria o confirmarse una vez que ya ha parecido. Esto permitiría pasar de un enfoque de emergencias a otro preventivo. Adicionalmente, la existencia de diferentes usuarios en el sistema con una diversidad de criterios, potencialmente implica integrar los componentes socioeconómicos en la evaluación de sequías y en su declaración. Esto significa considerar de alguna forma la demanda como variable para identificar situaciones de escasez. Desde el punto de vista resolutivo se hace entonces necesario considerar la utilización de datos no necesariamente hidro-climatológicos que permitan evaluar de mejor forma el potencial impacto de los eventos de sequía y definir estrategias proactivas de gestión.

Además del enfoque proactivo para identificar el desarrollo de las sequías y estar preparados para su mitigación es necesario dar cabida a la posibilidad de mirar atrás y dimensionar la magnitud de una sequía ya ocurrida y superada, de manera de incorporar esta información a herramientas de gestión de más largo plazo. Por ejemplo, si una sequía tuvo una magnitud extrema (gran periodo de retorno superior a un límite a definir) tal vez se podría subsidiar parte de la tasa de interés a pagar por sectores productivos afectados que incurrieron en una deuda para mitigar los efectos.

Los demás aspectos técnicos referidos a indicadores, parámetros y niveles son relativamente simples de acordar y existe experiencia internacional, así como elementos y herramientas en la propia DGA para abordarlos.

### 3 SITUACIÓN INTERNACIONAL

En general en varios países del mundo se ha abordado últimamente el tema de las sequías con nuevos enfoques. De entre ellos es conveniente revisar lo realizado en EE.UU. por DMC (Drought Mitigation Center), en Australia, en España y también conocer la situación actual en países como Argentina y Brasil. Existen además numerosas instituciones que han realizado importantes aportes en estos temas y cuya información está disponible a través de Internet. A continuación se analizan los criterios, indicadores, y definiciones empleadas en varios países para calificar las condiciones de sequía.

#### 3.1 Enfoques utilizados en países destacados

##### 3.1.1 Situación en EE.UU.

EE.UU. tiene una extensión y tamaño tal que está sujeto a diversos climas y condiciones hidrológicas, entre las cuales las sequías son un fenómeno recurrente tanto temporal como espacialmente. Además la organización administrativa, con un gobierno federal y una cantidad importante de estados, gobiernos locales y tribus, presenta diversas maneras de enfrentar situaciones críticas.

Desde el punto de vista de la organización para la mitigación de sequías es interesante observar que recién en 1.998 fue aprobada una Ley de Política Nacional de Sequías<sup>4</sup>, con el objeto de:

*“Establecer un Comité que asesore y recomiende la creación de una política federal integrada y coordinada diseñada para prepararse y responder a emergencias serias de sequías”. Entre las bases para la creación de esta ley el congreso encuentra que:*

- *Los EEUU sufren serias pérdidas económicas y ambientales por sequías severas regionales y no hay una estrategia federal coordinada para responder a tales emergencias.*
- *A nivel federal, aunque históricamente ha habido frecuentemente sequías significativas de consecuencias nacionales, las sequías son enfrentadas principalmente a través de legislación especial orientada al caso particular en lugar de procesos sistemáticos y permanentes como ocurre con otros desastres naturales.*
- *Existe una necesidad creciente, particularmente a nivel federal, para enfatizar la preparación, mitigación y gestión del riesgo (en lugar de la simple gestión de crisis) cuando se refiere a las sequías y otros desastres naturales y emergencias.*
- *Muchas agencias federales tiene un papel en las sequías desde la predicción, pronóstico y monitoreo de las condiciones de sequías hasta la provisión de planificación, y asistencia técnica y financiera.*
- *No hay una agencia federal única que lidere o coordine el tema de sequías.*
- *Los gobiernos estatales, locales y tribales han tenido que relacionarse individual*

<sup>4</sup> Public Law 105-199. National Drought Policy Act, 105th Congress, July 16, 1998.

y separadamente con cada agencia federal vinculada a la asistencia durante las sequías; y

- *El Presidente citó a una Comisión asesora para proveer recomendaciones sobre la creación de una política Federal integrada y coordinada diseñada para prepararse para, mitigar los impactos de, responder a, y recuperarse de las emergencias serias de las sequías.*

La Comisión estuvo formada por 16 miembros nombrados en la misma Ley y se le asignó la tarea de estudiar e informar sobre la política nacional de sequías y asesorar al congreso sobre la mejor forma de abordar los siguientes aspectos básicos:

- *Integrar las leyes y programas federales sobre sequías con los existentes a nivel estatal, local y tribal en una política nacional para mitigar los impactos y responder a las sequías.*
- *Mejorar la preocupación pública sobre la necesidad de la mitigación de sequías*
- *Lograr un enfoque coordinado para la mitigación y respuesta a las sequías por parte de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, incluyendo intereses académicos, privados y sin fines de lucro.*

En mayo de 2000 la Comisión entregó su informe<sup>5</sup> que incluye una declaración de política en la que señala:

*“La Comisión considera que la política nacional de sequías debe usar los recursos del gobierno federal para apoyar pero no reemplazar ni interferir con los esfuerzos estatales, tribales, regionales, locales e individuales para reducir los impactos de las sequías. Los principios que guían la política nacional de sequías debieran:*

- *Favorecer la preparación sobre los seguros, los seguros sobre la reparación y los incentivos sobre la regulación.*
- *Establecer prioridades de investigación basadas en el potencial de los resultados de investigación para reducir los impactos de las sequías.*
- *Coordinar la entrega de servicios federales a través de la cooperación y colaboración con entidades no federales.*

Como resultado final la Comisión recomienda que el congreso apruebe una Ley de Preparación Nacional de Sequías para establecer una sociedad federal/no federal a través de un Consejo Nacional de Sequías para lo cual recomienda:

- *Incorporar como elementos clave en una Política Nacional de Sequías la planificación, la aplicación de planes y medidas de mitigación proactivas, la gestión del riesgo, los recursos naturales, consideraciones ambientales y educación pública.*
- *Promover la colaboración entre científicos y colaboradores para mejorar la efectividad de redes de observación, monitoreo, predicción, comunicación de información, e investigación aplicada para realzar la comprensión pública y la*

---

<sup>5</sup> Preparing for Drought in the 21st Century. Report of the National Drought Policy Commission. Mayo 2000.

*preparación frente a las sequías.*

- *Desarrollar e incorporar estrategias de seguros y financieras en los planes de preparación frente a sequías.*
- *Mantener una red segura de reparación de emergencia que enfatice manejo sano de los recursos naturales y de autoayuda.*
- *Los programas de respuesta efectiva, eficientemente y orientada a los consumidores.*

Cada una de estas recomendaciones básicas se complementa con una serie de recomendaciones específicas que constituyen la parte principal del informe de la Comisión.

Entre otros aspectos se presenta un ejemplo de las componentes de un plan general de gestión del agua y planificación de sequías, y se indica que la Comisión alienta la planificación de sequías como un proceso continuo que sea parte de un programa general de gestión del agua, Figura 1.

También se muestra como un ejemplo de colaboración entre agencias gubernamentales e instituciones privadas el desarrollo en internet del U.S. Drought Monitor, Figura 2, el cual es una iniciativa conjunta entre el Departamento de Agricultura, de Comercio y el National Drought Mitigation Center de la U. de Nebraska para publicar semanalmente un mapa con las condiciones climáticas y de sequías en EE.UU.

En cuanto a colaboración para generar información sobre condiciones de sequías se menciona a diferentes entidades estatales ya sea para generar una red de observación de situaciones críticas, como para un sistema de entrega de información efectiva sobre condiciones de sequías en EE.UU., como se ilustra en la Figura 3.

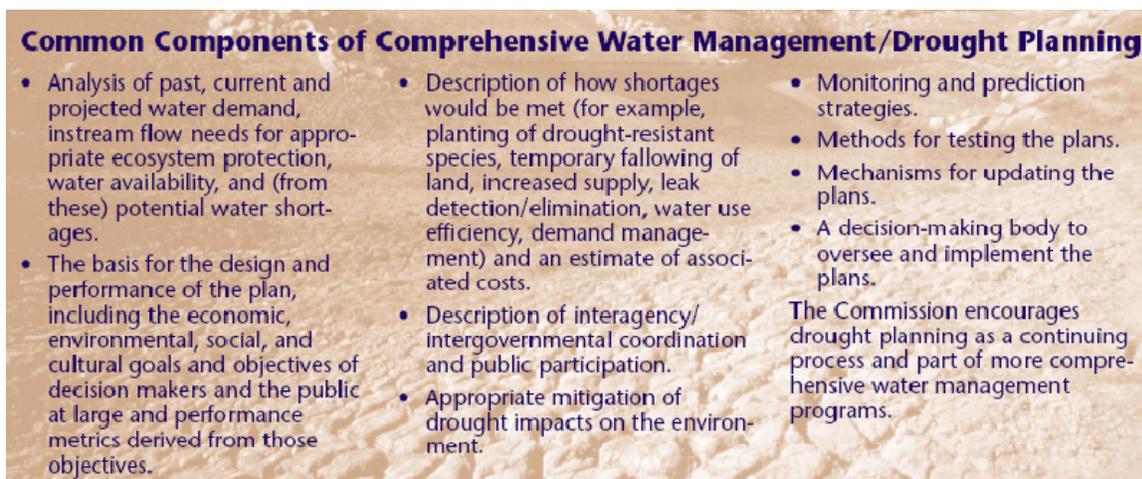
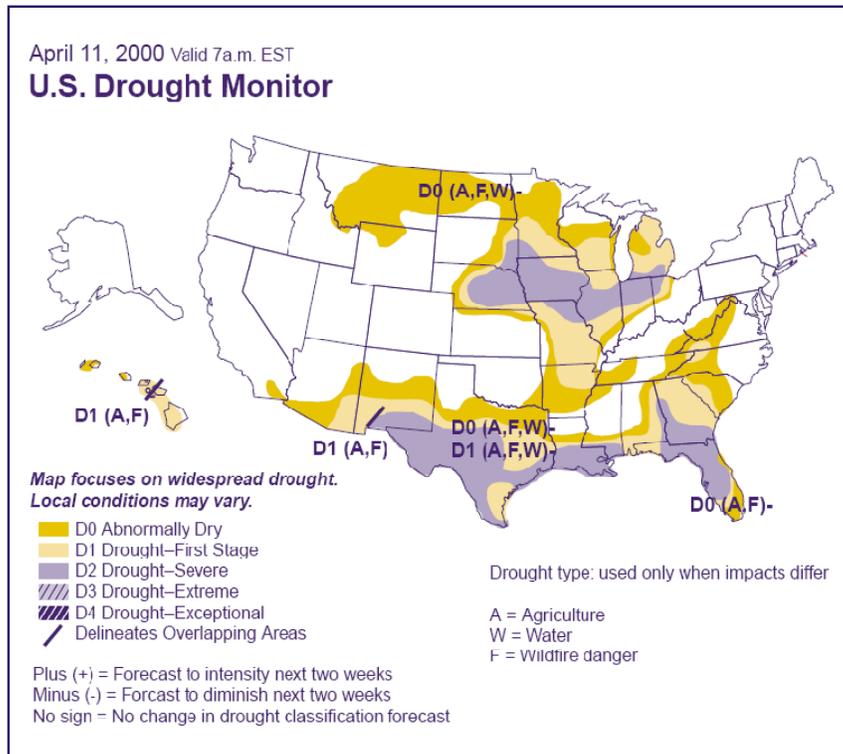


Figura 1: Componentes típicas para un plan comprensivo para la gestión del agua y la planificación de sequías. Referencia: *Preparing for Drought in the 21st Century. Report of the National Drought Policy Commission. Mayo 2000.*



The U.S. Department of Commerce, U.S. Department of Agriculture, and National Drought Mitigation Center publish a weekly, Drought Monitor on the Internet, posted at <http://enso.unl.edu/monitor/monitor.html>. The Monitor serves as an excellent example of a collaborative effort to pull together the various sources of weather data and compile them in a single, comprehensive, national report. In addition to the map, the Monitor includes a summary of recent significant weather as well as forecasts of conditions that could affect drought intensities in upcoming weeks.

Figura 2: Ejemplo de información publicada por el NDMC semanalmente en internet sobre las condiciones de sequía en EE.UU. Referencia: *Preparing for Drought in the 21st Century. Report of the National Drought Policy Commission. Mayo 2000.*

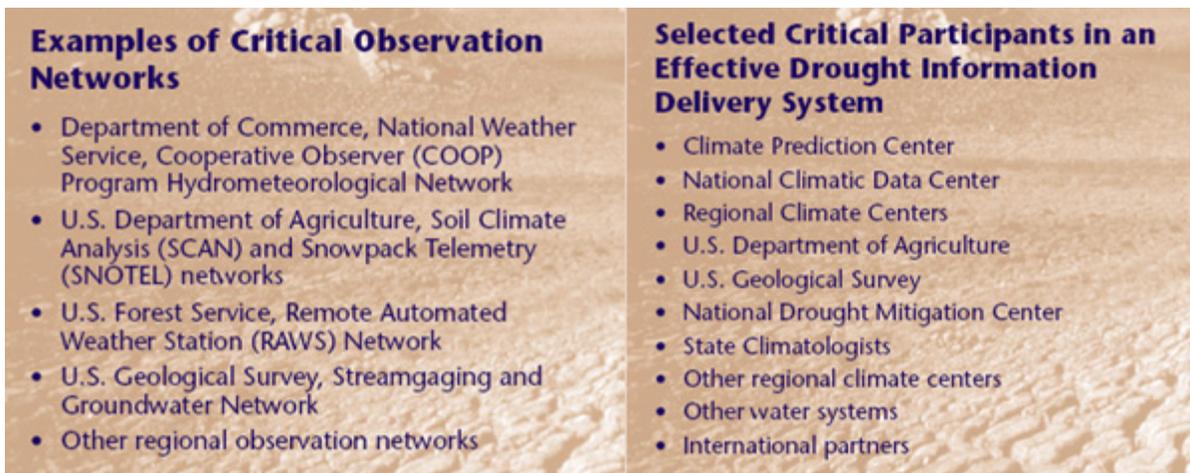


Figura 3: Instituciones federales que disponen de redes de observación de interés para las sequías y participantes en un sistema de entrega de información sobre sequías en EE.UU. Referencia: *Preparing for Drought in the 21st Century. Report of the National Drought Policy Commission. Mayo 2000.*

Como resultado del trabajo de la Comisión se ha generado un proyecto denominado NIDIS, National Integrated Drought Information System, el cual integra información sobre sequías agrupando a varias de las instituciones involucradas en el tema. La principal responsabilidad

de NIDIS es la mantención de un portal Web de información, U.S. Drought Portal, cuya página actual portada se reproduce en la Figura 4. El Plan de desarrollo de NIDIS considera entre sus primeras acciones las siguientes:

- Desarrollar y liderar un red para implementar un sistema integrado de monitoreo y pronóstico de sequías a nivel federal, estatal y local.
- Impulsar y favorecer un ambiente de investigación enfocado en la estimación del riesgo, el pronóstico y la gestión.
- Crear un sistema de alerta temprana de sequías para proveer información precisa, integrada y oportuna
- Desarrollar un sistema interactivo, como un portal Web como parte de un sistema de alerta temprana.
- Proveer un marco para la educación pública y la preocupación sobre las sequías.

The screenshot shows the U.S. Drought Portal website. At the top, there is a header with the NIDIS logo, the text "National Integrated Drought Information System", and "U.S. Drought Portal" with the URL "www.drought.gov". There are links for "Contact Us", "Log In", and "Text-Only", and a search bar labeled "Buscar:". Below the header is a navigation menu with links for "HOME", "WHAT IS NIDIS?", "CURRENT DROUGHT", "FORECASTING", "IMPACTS", "PLANNING", "EDUCATION", "RESEARCH", and "RECOVERY". The main content area is titled "drought.gov > What Is NIDIS > Overview". On the left, there is a sidebar titled "This Section Includes" with links to "Overview", "Milestones", "Organization", "Participating Agencies", "Supporting Documents", and "Who We Are". The main content area is titled "Overview" and contains the following sections:

**History**

The National Drought Policy Commission was established under the National Drought Policy Act of 1998 to ensure collaboration between different government agencies on drought-related issues. The Commission issued a groundbreaking report, *Preparing for Drought in the 21st Century*, in 2000. Following the Commission's recommendations, the National Integrated Drought Information System (NIDIS) was envisioned in a Western Governors' Association Report in 2004. The NIDIS Act was introduced in the U.S. Congress and signed by the President in 2006.

**Implementing NIDIS**

The NIDIS Implementation team has conducted workshops and meetings with federal, state and local agencies, academic researchers, and other stakeholders. A national conference was sponsored by the Geological Society of America (GSA) and twenty other scientific and technical organizations in Longmont, CO, in September 2006. The conference organizers presented their recommendations to the U.S. Congress in July 2007, along with a fact sheet and report. We have developed an Implementation Plan based on input from these meetings.

The [NIDIS Implementation Plan](#) outlines how to:

- Develop the leadership and networks to implement an integrated drought monitoring and forecasting system at federal, state, and local levels
- Foster and support a research environment focusing on risk assessment, forecasting, and management
- Create an "early warning system" for drought to provide accurate, timely, and integrated information
- Develop interactive systems, such as the Web Portal, as part of the early warning system
- Provide a framework for public awareness and education about droughts

**The Road Ahead**

As we embark on implementing NIDIS, the initial focus will be on:

- Developing the U.S. Drought Portal
- Integrating and fostering coping strategies through research, preparedness, education and public awareness
- Integrating data and predictions
- Developing pilot programs for design and implementation of early warning systems in selected locations

**The U.S. Drought Portal**

The U.S. Drought Portal is part of the interactive system to:

- Provide early warning about emerging and anticipated droughts
- Assimilate and quality control data about droughts and models
- Provide information about risk and impact of droughts to different agencies and stakeholders
- Provide information about past droughts for comparison and to understand current conditions
- Explain how to plan for and manage the impacts of droughts
- Provide a forum for different stakeholders to discuss drought-related issues

At the bottom of the page, there are links for "Contact Us", "Site Disclaimers", "Privacy Policy", "Accessibility", and "FOIA".

Figura 4: Página de portada del portal NIDIS. <http://www.drought.gov>.

Algunos de los productos que ya están disponibles en este portal se ilustran en la Figura 5, los que incluyen el monitoreo de situaciones de sequías en EE.UU. con abundante información gráfica para un público general y detalles para uno más educado en el tema.

**NIDIS National Integrated Drought Information System**  
**U.S. Drought Portal**  
[www.drought.gov](http://www.drought.gov)

Contact Us | Log In | Text-Only  
 Buscar:

HOME | WHAT IS NIDIS? | CURRENT DROUGHT | FORECASTING | IMPACTS | PLANNING | EDUCATION | RESEARCH | RECOVERY

**Area Drought Information**  
 Select State:  Go updated!  
 Select Region:  Go

**Maps & Tools**  
[Map Viewer](#)  
[GIS Resources](#)  
[Geodata Portal](#)  
[Drought Monitor Graphics - new!](#)  
[Data Visualizations - new!](#)

**Events & Announcements**  
[Southeast Pilot Planning Meeting - July 2009](#)  
[Climate, Drought and Early Warning on Western Native Lands - June 2009](#)  
[Climate Reference Network Soil Moisture Meeting - March 2009](#)  
[Monitoring Gaps Assessment Workshop - December 2008](#)  
[Wildfire: National Seasonal Assessment Workshop - February 2009](#)  
[National Hydrologic Warning Council - May 2009](#)  
[View Archive](#) | [Portal Release Notes](#)

**Drought In The News**  
[Drought in Central Texas is taking toll on trees - mySanAntonio.com](#)  
[Weather aids Calif. fire crew, but battle not over - ajc.com](#)  
[Study: 1.6 billion face water, food threat in Asia - ajc.com](#)  
[Agric. Secretary assesses Calif. water problems - Sacramento Bee](#)  
[U.N. seeks better data on hurricanes, droughts - USATODAY.com](#)  
[Dry summer means drought could creep back over SC - CharlotteObserver.com](#)  
[U.N. seeks \\$230M to fight Kenya hunger - CNN.com](#)  
[View Archive](#) | [RSS](#)

**Featured Products**  
[Where are Drought Conditions Now?](#) | [How is the Drought Affecting Me?](#) | [Will the Drought Continue?](#)

**U.S. Seasonal Drought Outlook**  
 Drought Tendency During the Valid Period  
 Valid: September 3, 2009 - November 2009  
 Released September 3, 2009

**KEY:**  
 ■ Drought to persist or intensify  
 ■ Drought ongoing, some improvement  
 ■ Drought likely to improve, prospects good  
 ■ Drought development likely  
 ■ No Drought, Possible/Partial end

**Drought Conditions**  
 % Area for U.S., including AK, HI & PR (As of 9.3.2009)  
 Info Source: National Drought Mitigation Center

None	1.28%
D0	0.66%
D1	3.07%
D2	6.91%
D3	17.23%
D4	70.83%

**Drought Information Statements**  
 Click on a highlighted area to view the current NWS Drought Information Statement or Click Here to select from a list

**US Streamflow Drought Conditions**  
 September 30, 2009  
 USFS  
 Gadgets powered by Google

**NIDIS Feature**  
**An Assessment of the Meteorological Severity of the 2008-09 Texas Drought through July 2009**  
 John Nielsen-Gammon and Renee McRoberts  
 Office of the State Climatologist, Texas  
 August 11, 2009  
 NIDIS08090901

Office of the State Climatologist  
 Department of Agriculture, Texas  
 Texas A&M University  
 1400 S. 201st  
 College Station, TX 77843-3200  
 979/241-2280  
 979/241-2281  
 jng@texasclimate.com

The 2008-09 Texas Drought Page 4 of 21 Office of the State Climatologist [view article](#)

Contact Us | Site Disclaimers | Privacy Policy | Accessibility | FOIA

Figura 5: Página con información sobre las condiciones de sequías del portal NIDIS de EE.UU.

### 3.1.2 Situación en Australia

Australia es el continente con la mayor variabilidad climática del mundo, con extremas diferencias en la distribución temporal y espacial de las precipitaciones. Esta variabilidad tiene un impacto potencial tremendo en la actividad económica, industrial y social del país, lo que se traduce en elevados costos asociados a eventos hidrológicos extremos. Los principales efectos de las sequías son la pérdida significativa de cultivo y ganado, así como una mayor incidencia de incendios forestales, pérdida de suelo, erosión eólica, y degradación ambiental en general. La mayor parte del país se encuentra en zonas subtropicales semiáridas, donde la precipitación anual promedio es de 350 mm<sup>6</sup>. Tanto los déficit en las precipitaciones como las sequías son eventos recurrentes en el clima del país. En promedio, una sequía severa en algún punto de Australia ocurre aproximadamente 1 vez cada 18 años, con periodos de retorno que varían entre 4 y 40 años. Algunos eventos de sequía son largos y poco intensos mientras otros pueden ser muy severos y cortos. La variabilidad espacial de estos eventos es significativa, por lo que es común la ocurrencia de tasas normales de precipitación en algunas regiones mientras en otras se tiene una condición de sequía<sup>7</sup>.

Hasta 1989, las sequías se consideraban como desastres naturales en el marco del National Disaster Relief Arrangement (NDRA), en la misma categoría de ciclones, inundaciones y terremotos. Debido a esta clasificación, ante la ocurrencia de sequía el gobierno federal (the Australian Commonwealth) destinaba una ayuda económica a los estados por concepto de pago para la restauración de infraestructura y recuperación frente al desastre. A partir del 1 de julio de 1989, las sequías fueron excluidas del NDRA, ya que se concluyó que correspondían a un desastre que requería de una acción de respuesta coordinada de parte del gobierno. En base al reporte final preparado por el Drought Policy Review Task Force (DPRTF), en 1992 la Commonwealth y los gobiernos estatales elaboraron la National Drought Policy (NDP), una estrategia única que representó una innovación con respecto a la experiencia mundial en ese momento, y que sigue siendo perfeccionada hasta el día de hoy conforme el país enfrenta nuevas sequías<sup>8</sup>. La NDP se considera la primera política adoptada por un país de carácter nacional para combatir los efectos de las sequías y desertificación en general, particularmente en el contexto agrícola y ganadero. Esta política gubernamental implicó un cambio de paradigma donde las sequías ya no fueron consideradas meramente como desastres naturales frente a los cuales se tiene una acción reactiva, y pasaron a ser eventos que deben ser enfrentados proactivamente en base a los principios de gestión de riesgo y autosuficiencia. Así entonces, las sequías pasaron a ser consideradas como una parte normal del ámbito de operación agrícola y debían ser enfrentadas como cualquier otro riesgo propio de cualquier

---

<sup>6</sup>Lindesay, J.A. (2005). Chapter 2: Climate and drought in the subtropics: the Australian example. *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

<sup>7</sup> Idem. 6.

<sup>8</sup> Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. (2005): Introduction. *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

industria<sup>9</sup>. En concreto el NDP establece que<sup>10</sup>:

*“Una sequía corresponde a una de las muchas fuentes de incertidumbre que afecta la industria agrícola y es parte de contexto normal en el que se desarrolla esta industria... Sus efectos pueden ser reducidos mediante prácticas de gestión de riesgo, las cuales toman en consideración la totalidad de los aspectos, incluyendo la sequía propiamente tal y la pérdida de bienes de mercancía (commodity)”*

Los objetivos fundamentales originales de la NDP fueron:

1. *Motivar a los productores de materias primas y otros sectores económicos del mundo rural a adoptar estrategias autosuficientes de gestión para enfrentar la variabilidad climática.*
2. *Mantener y proteger la agricultura del país y los recursos naturales principales durante periodos de estrés climático extremo*
3. *Facilitar la pronta recuperación de la industria agrícola y rural consistente con los niveles de sustentabilidad a largo plazo.*

Los roles específicos asignados por la NDP a los agricultores y el gobierno central fueron:

1. *Los agricultores deberán asumir mayores responsabilidades en la gestión de los riesgos asociados a la variabilidad climática. Esto implicará una integración de la gestión financiera y comercial con la producción y la gestión de los recursos para asegurar que los recursos físicos y financieros del negocio agrícola sean usados eficientemente.*
2. *El gobierno ayudará con la creación del contexto general conducente a esta estrategia de gestión de riesgo y planificación de la gestión de la propiedad. El gobierno motivará la adopción por parte de los sectores productivos de las prácticas alineadas con esta estrategia a través de un sistema de incentivos, transferencia de información, educación y capacitación, proyectos grupales para la conservación del suelo, e investigación y desarrollo.*

Además, las medidas adoptadas para garantizar la consecución de los objetivos de la NDP fueron:

1. *Aumento de los fondos para la investigación y desarrollo en el área de sequías.*
2. *Inclusión de prácticas de gestión de riesgo frente a sequía en la totalidad de los componentes de capacitación del “Programa Nacional de Protección del Terreno” relacionados con la planificación de gestión de la propiedad privada.*
3. *Ayuda financiera a agricultores y ganaderos que demuestren la viabilidad de sus actividades a largo plazo, en la forma de subsidios de hasta un 50% de la tasa de interés. Esta ayuda se aplica a las deudas adquiridas con el propósito de mejorar*

---

<sup>9</sup>Lindesay, J.A. (2005). Chapter 2: Climate and drought in the subtropics: the Australian example. *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

<sup>10</sup>Botterill, L.C. (2005). Chapter 4: Late twentieth century approaches to living with uncertainty: The National Drought Policy. *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

*la productividad o a las peticiones de préstamo para capacitación y asesoría profesional orientadas a mejorar las capacidades de gestión frente al riesgo, incluido el riesgo de sequía.*

4. *Incentivos al ahorro provistos a través del sistema de impuestos en la forma de nivelación del ingreso y bonos de gestión agrícola, cuyo objetivo es motivar el ahorro de dinero para situaciones tales como sequías.*
5. *Depreciación acelerada de los impuestos para almacenamiento de comida y granos.*
6. *Subsidios de hasta un 100% a los intereses de deudas adquirida en los periodos de circunstancias excepcionales de sequía para aquellos agricultores y ganaderos que puedan demostrar la viabilidad de sus actividades a largo plazo.*
7. *Apoyo en los ingresos a agricultores y ganaderos (sujetos a evaluación) cuyas operaciones se encuentren localizadas en áreas con circunstancias excepcionales de sequía. A partir de 1994, se instauró el “Drought Relief Payment” (Apoyo económico de alivio frente a sequía) para todos los agricultores y ganadero, sin importar la viabilidad a largo plazo de los negocios.*

Una revisión de los objetivos de la NDP del año 1996 reformuló sus objetivos fundamentales. En concreto, se removió el tercer objetivo previamente identificado y se agregaron los siguientes<sup>11</sup>:

1. *Asegurar el acceso de las familias campesinas a un adecuado apoyo económico comparable con el disponible para otros ciudadanos del país.*
2. *Asegurar que los elementos de la NDP no impidan ajustes estructurales.*
3. *Tener un elevado grado de conciencia y comprensión sobre las sequías y las políticas para enfrentarlas.*

Junto con esta modificación de los objetivos, se decidió también reemplazar el Esquema de Ajuste Rural (Rural Adjustment Scheme Advisory Council) por un conjunto de medidas denominado “El paquete AAA” (The AAA package, Agriculture-Advancing Australia), cuyos cuatro objetivos fueron<sup>12</sup>:

1. *Ayudar a los negocios campesinos individuales a generar ganancias a partir de las condiciones post-sequías.*
2. *Proveer incentivos positivos para ajustes campesinos en ejecución.*
3. *Motivar el desarrollo social y económico en áreas rurales.*
4. *Asegurar el acceso del sector campesino a una adecuada red de protección.*

A pesar del cambio de paradigma, la NDP aún considera la posibilidad de la ocurrencia de eventos catastróficos no abordables con la estrategia de gestión de riesgo, llamados “circunstancias excepcionales de sequía” (del inglés drought exceptional circumstances, DEC).

---

<sup>11</sup>Drought Policy Task Force (1997). *Review of the National Drought Policy Task Force of Officials from the Commonwealth*. State and Territory Governments Canberra.

<sup>12</sup>Anderson MP, H. J. (1997). *Farm Household Support Amendment (Restart and Exceptional Circumstances) Bill: Second Reading Speech*, House of Representatives Hansard, 2 October 1997.

Estos eventos son considerados por las medidas 6 y 7 a adoptar para garantizar la consecución de los objetivos de la NDP. Estos son los únicos eventos para los cuales la Commonwealth puede aportar con un apoyo financiero directo<sup>13</sup>, y son declarados por los ministerios a partir de la recomendación del Consejo Asesor para el Esquema de Ajuste Rural (Rural Adjustment Scheme Advisory Council), el organismo de gobierno que entrega la ayuda a los agricultores y ganaderos afectados por sequías. La definición de un DEC y el procedimiento a seguir para declararlo, ha suscitado constantes polémicas dado el trasfondo político detrás de la definición y la decisión. Las mayores dificultades se deben al hecho que son los estados quienes presentan la solicitud de declaración de un DEC, pero es el gobierno federal el que entrega los fondos necesarios. Así entonces, típicamente no ha existido incentivos para que los estados revisen seriamente las solicitudes a formular; para evitar el costo político, los estados prefieren no ser ellos, si no el gobierno federal, quien rechace las solicitudes no justificadas hechas por los agricultores. La definición de un DEC ha cambiado con el tiempo para solucionar estas falencias. Luego de las revisiones de los años 1999, 2000 y 2003, se estipuló que un DEC debía cumplir con las siguientes condiciones<sup>14,15</sup>:

1. *El evento debe ser excepcional y severo, con una magnitud mayor a la considerada por un granjero en una estrategia responsable de gestión de riesgo. Se considera como evento excepcional aquel que ocurre en promedio uno cada 20 o 25 años.*
2. *El efecto del evento debe implicar una pérdida económica agrícola severa y de largo plazo.*
3. *El evento no debe ser predecible.*
4. *El ingreso económico del agricultor o ganadero es otro factor a ponderar en la declaración de un DEC. Tanto el "Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics" (ABARE) como el "Bureau of Rural Sciences (BRS) entregan asesoría con este propósito en la forma de ranking financieros del productor antes del evento y de estudios que analizan el impacto en los ingresos. Esta información complementa las de tipo hidrológico y ambiental en general.*
5. *La solicitud de declaración de DEC no se presentará al gobierno federal a menos que pueda ser totalmente documentado, y que el gobierno local tenga la certeza razonable de que el evento tiene las características estipuladas.*

Desde el punto de vista científico técnico, en Australia se utiliza una gran variedad de información para determinar la ocurrencia de un DEC. No se usa un índice y un criterio en particular para declarar condiciones de sequía extrema, si no que más bien se sintetiza la

---

<sup>13</sup>O'Meagher, B., du Pisani, L.G. y White, D.H. (1998). *Evolution of Drought Policy and Related Science in Australia and South Africa*. Agricultural Systems 57(3), 231-258

<sup>14</sup>Botterill, L.C. (2005). Chapter 4: Late twentieth century approaches to living with uncertainty: The National Drought Policy. *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

<sup>15</sup>White, D.H., Botterill, L.C. y O'Meagher, B. (2005). At the intersection of science and politics: defining exceptional drought *From Disaster Response to Risk Management, Australia's National Drought Policy*. Editado por Botterill, L.C. y Wilhite, D.A. Springer, The Netherlands, 209 pp.

mayor cantidad posible de información relacionada con todos los aspectos involucrados en la ocurrencia de sequía y sus efectos económicos. La información principal a considerar en una declaración de evento de sequía comprende de datos climatológicos, datos agrícolas, datos satelitales en general, encuestas a los campesinos y resultados de modelos agrícolas. Con esto se logra una integración de datos biofísicos y socioeconómicos para declarar eventos extremos y evaluar sus efectos. Mucha de esta información es de libre acceso y se encuentra disponible en Internet. Algunos de estos datos incluyen mapas digitales de lluvia y de temperaturas medias y mínimas para estimar la capacidad agrícola luego de los meses de lluvia (Bureau of Meteorology, BOM, <http://www.bom.gov.au>, <http://www.bom.gov.au/silo>) y mapas de lluvias probables (Bureau of Rural Sciences, BRS, <http://www.daff.gov.au/brs>). Otra alternativa al uso de datos “duros” es la utilización de resultados proporcionados por modelos que simulan el crecimiento de distintos cultivos o especies vegetales en función de las características y humedad del suelo, la hidrología, temperaturas y la radiación solar. Ejemplos de ello son el modelo Aussie-GRASS<sup>16</sup> y el modelo GROWEST<sup>17</sup>. La Figura 6 muestra un típico mapa de información sobre deficiencia de precipitaciones actualmente disponible en el sitio Web del Bureau of Meteorology, BOM de Australia.

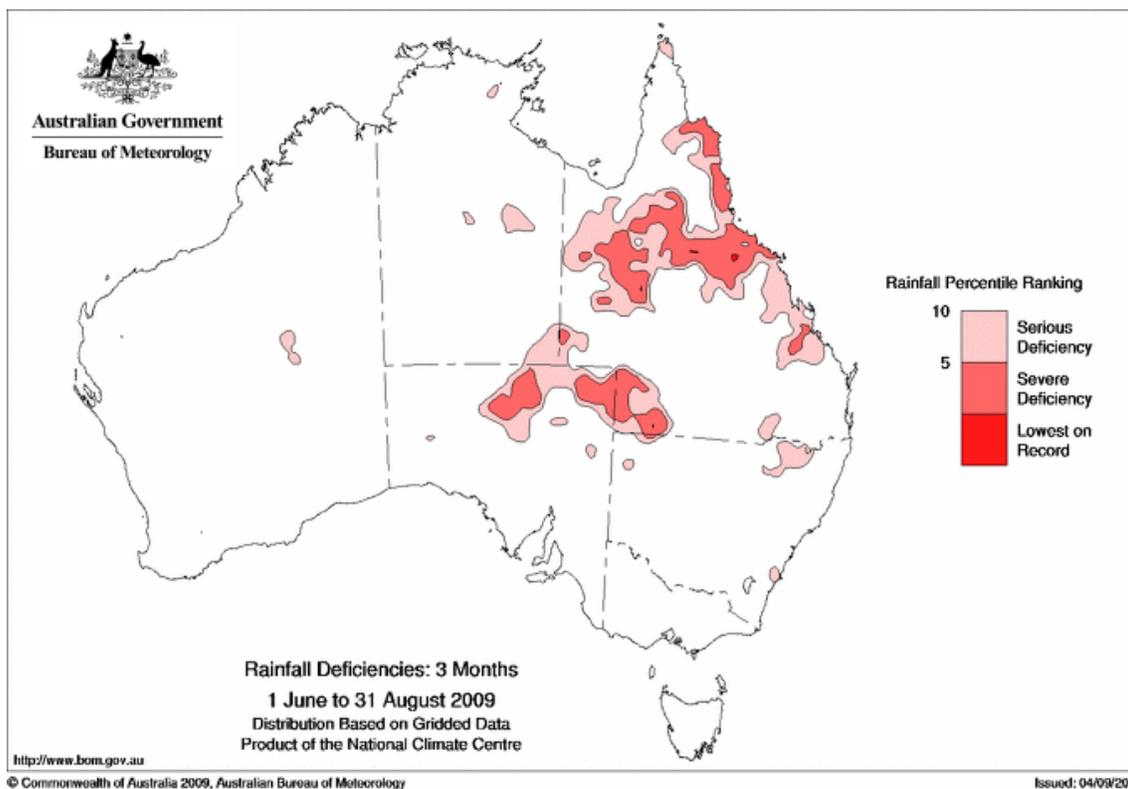


Figura 6: Mapa de condiciones de precipitación de los últimos 3 meses publicado en línea en el sitio BOM de Australia. <http://www.bom.gov.au/silo>.

<sup>16</sup> <http://www.longpaddock.qld.gov.au/AboutUs/ResearchProjects/AussieGRASS/index.htm>

<sup>17</sup> <http://fennerschool.anu.edu.au/publications/software/growest.php>

En lo que se refiere a la evaluación de los efectos ambientales y agrícolas de las sequías, se utilizan otros datos de tipo industrial o ambiental, como son los datos de campo y pronósticos de producción de trigo (Australian Wheat Board, Australian Bureau of Statistics), mapas de estadísticas de cabezas de ganado, disponibilidad de forraje y agua para beber, mapas de vulnerabilidad a la erosión, mapas de humedad del suelo y coberturas vegetales. El uso de estos mapas e imágenes satelitales ha permitido determinar los límites espaciales de los DEC's los cuales no coinciden con los límites de los gobiernos locales o regionales. Esto ha derivado en una necesidad, aún no resuelta, de delimitar regiones basado en criterios biofísicos por sobre criterios netamente legislativos.

En conclusión, la estrategia utilizada por Australia en lo referido a la declaración de sequías, su enfrentamiento y la evaluación de sus impactos, se caracteriza por ser proactiva más que reactiva. La política nacional de sequía está orientada principalmente a combatir los efectos de sequías sobre las actividades agrícolas y ganaderas, rubros productivos fundamentales de la economía australiana. En general la sequía es considerada como un factor más de incertidumbre en los negocios e industrias que se ven afectados por ellas, aunque también se da espacio a la sequía severa como catástrofe natural. Sin embargo, un evento extremo no se define sólo por sus características biofísicas, sino también por las condiciones socio-económicas de los sectores y grupos afectados. Finalmente cabe destacar que la política nacional es dinámica y se encuentra constantemente en evolución, ya que es sometida a revisión y escrutinio periódicamente, y en particular, después de eventos extremos.

### **3.1.3 España**

Las sequías en España han tenido graves efectos sobre la economía y el medio ambiente y en el bienestar de la población. Las grandes sequías de la década de 1990 afectaron a más de 6 millones de personas, casi diez veces más que el número de personas afectadas por las inundaciones en España durante los últimos cincuenta años. Los daños económicos causados por la sequía durante los últimos veinte años fueron aproximadamente cinco veces más que en todo Estados Unidos.

Según el sistema español de información sobre el agua, Hispagua<sup>18</sup>, del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marítimo, en España, se han dado dos alternativas de gestión de las sequías: una como situación de emergencia, es decir, considerando que es una situación de crisis, a la que hay que hacer frente movilizándolo recursos de carácter extraordinario. La otra alternativa es incorporar los episodios de sequía en el marco de la planificación general, es decir, haciendo un análisis del riesgo existente, e introduciendo la sequía en la planificación general como un escenario distinto. Pero hasta ahora en España las sequías se han gestionado por emergencia.

El análisis de sequía en España se ha incorporado a través de tres leyes instrumentales, que son los principales precursores de documentos para la preparación y planificación de la sequía: La Ley de Aguas (2001), la Ley del Plan Hidrológico Nacional (2001) y la Ley de Seguros Agrarios (1978).

---

<sup>18</sup> <http://hispagua.cedex.es/index.php>

El órgano administrativo responsable de prestar servicio público en relación con la gestión del agua en las cuencas es la Autoridad de la Cuenca, que cuenta con atribuciones respecto a aguas superficiales y las aguas subterráneas. La Autoridad de la Cuenca es un organismo público autónomo que depende del Ministerio de Medio Ambiente, el cual además acoge el Observatorio Nacional de la Sequía, ONS, que actualiza la información general y elabora mapas de sequía mensualmente desde diciembre de 2005. La Figura 7 muestra uno de estos mapas disponibles en el sitio Web del ONS de España. La Figura 8 muestra la página de portada del Ministerio de Medio ambiente en lo que dice relación con el ONS.

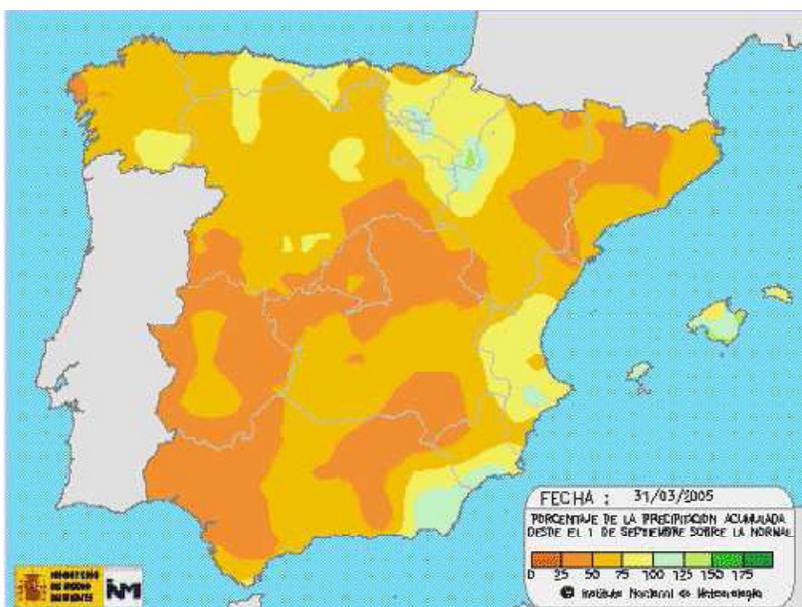


Figura 7: Distribución de la precipitación acumulada sobre la normal desde septiembre de 2004 hasta abril de 2005 en el territorio peninsular. Fuente, INM.

Sede Electrónica

Área de Medio Ambiente

Contacto Búsqueda en [www.mma.es](http://www.mma.es)

Enlaces de interés | Mapa web | Temas A-Z

Buscar Búsqueda Avanzada

[marm.es](#) | [aguas continentales y zonas asociadas](#) | [observatorio nacional de la sequía](#)

Medios de Comunicación | Novedades en la web | Licitaciones | Biblioteca y Publicaciones

## Aguas Continentales y Zonas Asociadas

< volver

### Observatorio Nacional de la Sequía

El Observatorio Nacional de la Sequía (ONS) es una iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente y del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación que pretende aglutinar a todas las administraciones hidráulicas españolas con competencias en materia de aguas, para constituir un Centro de conocimiento, anticipación, mitigación y seguimiento de los efectos de la sequía en el territorio nacional.

Pueden formar parte de este Observatorio:

- Los ocho Organismos de cuenca intercomunitarios dependientes de la Administración General del Estado,
- Las siete Administraciones Hidráulicas intracomunitarias (Galicia Costa, País Vasco, Cuencas Internas de Cataluña, Cuenca Mediterránea Andaluza, Cuenca Atlántica Andaluza, Islas Baleares e Islas Canarias),
- Las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla,
- Las diecisiete Comunidades Autónomas y
- Las Corporaciones Locales.

Se trata, por lo tanto, de un verdadero Observatorio nacional donde todos los actores con responsabilidades e intereses tienen cabida y donde cada uno debe aportar la información que le corresponda para poder realizar una gestión adecuada que permita anticiparse a los efectos de la sequía y mitigar sus consecuencias en los ámbitos medioambientales, sociales y económicos.

Esta iniciativa se enmarca dentro de la nueva política de refuerzo del control público del uso y la calidad del agua y de potenciación de la participación y la corresponsabilidad de los ciudadanos para combatir el despilfarro, la especulación, la insuficiencia y la contaminación del agua.

El Observatorio Nacional de la Sequía es un claro exponente de esta política de participación, no sólo de las administraciones hidráulicas competentes, sino de todos los ciudadanos que quieren y demandan transparencia informativa y calidad de la información. Por ello, el Observatorio nace con la premisa de ser un centro de referencia para el seguimiento y análisis de la sequía en España y no sólo un lugar de contenidos mediáticos. Para esto es imprescindible la participación ciudadana, ya sea a través de las Comisiones con Usuarios y Expertos o mediante las campañas de educación ambiental promovidas por las diferentes administraciones.

El Ministerio de Medio Ambiente, dentro de un espíritu de coordinación y cooperación, se ha ofrecido para alojar en su portal [www.mma.es](http://www.mma.es) una página del ONS a la que se accede a esta información y desde la cual también se puede acceder a las páginas de todas las Administraciones hidráulicas mencionadas anteriormente con información de la sequía.

En la página del ONS se puede encontrar:

- Información Hidrológica relativa a: precipitaciones, aguas superficiales, aguas subterráneas, caudales circulantes, calidad de las aguas superficiales, recursos no convencionales, reserva en forma de nieve y humedales.
- Los informes de seguimiento de la sequía elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente de nuestro país.
- Las medidas legislativas y de gestión implantadas por las administraciones autonómicas y locales de nuestro país.
- Información sobre educación ambiental ciudadana
- Enlace directo a la página Web de la Dirección General de Protección Civil (inforiesgos)
- Las medidas para paliar el efecto de la sequía en el sector agrícola.

[Agenda](#) | [Preguntas Frecuentes](#) | [Índice Siglas](#) | [Igualdad de género](#) | [Revista Ambiental](#) | [Área infantil](#)  
 Accesibilidad | Nota Legal | Guía de Navegación | Ayuda del Buscador | [marm.es](#)  
 © 2008 Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Plaza de San Juan de la Cruz, s/n 28071-Madrid Tf: 91 5976000

Figura 8: Portada del Observatorio nacional de Sequías de España, Ministerio de Medio Ambiente.

Las Bases jurídicas para la gestión de sequías en España se pueden resumir como:

- Ley de Aguas, en su art. 58<sup>19</sup>, prevé en circunstancias de sequías extraordinarias la adopción por parte del Gobierno de las medidas que sean precisas para la superación de dichas situaciones, en relación con la utilización del dominio público hidráulico.
- Reales Decretos-Ley de medidas excepcionales urgentes<sup>20</sup>: Estas medidas llevan implícitas la declaración de utilidad públicas de las obras, sondeos y estudios necesarios para desarrollarlos, a efectos de la ocupación temporal y expropiación forzosa de bienes y derechos, así como la urgente necesidad de la ocupación.
- Ley 10/2001<sup>21</sup>, de 5 de julio de 2001, del Plan Hidrológico Nacional, estableció en su artículo 27 las bases de la gestión planificada de sequías:
  1. *El Ministerio de Medio Ambiente, para las cuencas intercomunitarias, con el fin de minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales situaciones de sequía, establecerá un sistema global de indicadores hidrológicos que permita prever estas situaciones y que sirva de referencia general a los Organismos de cuenca para la declaración formal de situaciones de alerta y eventual sequía. Dicha declaración implicará la entrada en vigor del Plan especial a la que se refiere el apartado siguiente.*
  2. *Los Organismos de cuenca elaborarán en los ámbitos de los Planes Hidrológicos de cuenca correspondientes, en el plazo máximo de dos años desde la entrada en vigor de la presente Ley, planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, incluyendo las reglas de explotación de los sistemas y las medidas a aplicar en relación con el uso del dominio público hidráulico. Los citados planes, previo informe del Consejo de Agua de cada cuenca, se remitirán al Ministerio de Medio Ambiente para su aprobación.*
  3. *Las Administraciones públicas responsables de sistemas de abastecimiento urbano que atiendan, singular o mancomunadamente, a una población igual o superior a 20.000 habitantes deberán disponer de un Plan de Emergencia ante situaciones de sequía. Dichos Planes, que serán informados por el Organismo de cuenca o Administración hidráulica correspondiente, deberán tener en cuenta las reglas y medidas previstas en los Planes especiales a que se refiere el apartado 2, y deberán encontrarse operativos en el plazo máximo de cuatro años.*

---

<sup>19</sup> MIMAN, 2001, Texto Refundido de la Ley de Aguas, Art. 58, Ministerio del medio Ambiente, España, Madrid.

<sup>20</sup> Estrela T., 2006, La Gestión de la Sequía en España, Ministerio de Medio Ambiente, España

<sup>21</sup> Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, España.

En la Guía para la Redacción de los Planes de Sequía, elaborada el año 2004 por la Dirección General de Aguas<sup>22</sup>, se establecen los criterios que deben reunir los Sistemas de Indicadores de los diferentes organismos de cuenca.

Los criterios mencionados establecen que los indicadores utilizados por las cuencas adoptan valores comprendidos entre 0 y 1, correspondiendo el valor 0.5 a la situación media. Mediante la ponderación del valor del indicador en cada zona o sistema (teniendo en cuenta la importancia de la demanda atendida) se obtiene el valor del indicador global. Estos indicadores clasifican los estados hidrológicos de los sistemas de explotación de recursos hídricos en 4 categorías, tal como se indica en la Tabla 2

En la Figura 9 se muestra la clasificación de los sistemas de explotación de las cuencas intercomunitarias a finales del 2008

Tabla 2: Clasificación de estados hidrológicos en España de acuerdo a la Guía para la Redacción de los Planes de Sequía.

<b>Clasificación de los estados hidrológicos</b>	
<b>Riesgo de restricciones</b>	<b>Estado hidrológico</b>
Muy Bajo – Bajo	Normalidad
Medio	Prealerta
Alto	Alerta
Muy Alto	Emergencia

---

<sup>22</sup> DGA, 2004, Guía para la Redacción de los Planes de Sequía, Dirección General de Aguas, Ministerio de medio Ambiente, Madrid, noviembre de 2004

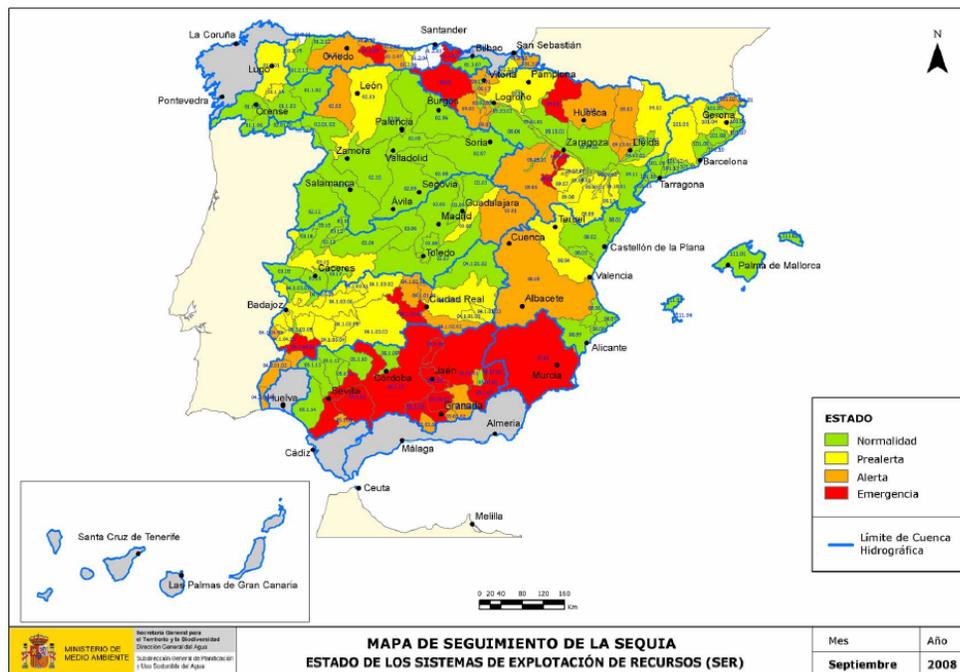


Figura 9: Clasificación de los sistemas de explotación de las cuencas a finales del 2008 según el mapa de seguimiento de sequías de España. Ministerio de Medio Ambiente.

### 3.1.4 Situación en países latinoamericanos

En los países latinoamericanos en general no existe información fácilmente accesible sobre la estructura administrativa y legal para enfrentar condiciones de sequías. Es por ello que se ha realizado una exploración más detallada de lo que puede encontrarse en Brasil y Argentina por la importancia que tiene en ellos este tipo de fenómenos y sus efectos sobre aspectos claves de sus economías.

#### a.- Brasil

El año 2007 en Brasil se estableció la Política Nacional de Prevención y Lucha contra la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía. En esta política se establece que el gobierno, entre otros deberes, debe definir e implementar el Sistema de Alerta Temprana para la Sequía (SAP) y promover la sensibilización, empoderamiento y la participación de las comunidades locales para mitigar los efectos de la sequía.

Además, teniendo en cuenta el compromiso asumido para aplicar el Plan de Acción de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, desde el año 2008, se crea en la estructura orgánica del Ministerio de Medio Ambiente, la Comisión Nacional de Lucha contra la Desertificación, CNCD, organismo de naturaleza deliberativa y consultiva, con el propósito de:

1. Decidir sobre la aplicación de la política nacional de lucha contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía, combinada con otras políticas sectoriales, programas, proyectos y actividades del gobierno para combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía;
2. Promover la articulación de la política nacional de lucha contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía y la planificación en el estado nacional, regional y municipal;

3. *Orientar, supervisar y evaluar la aplicación de los compromisos contraídos por el Brasil en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Sequía, UNCCD;*
4. *Decidir sobre las propuestas que surjan del taller nacional de lucha contra la desertificación y los comités creados en virtud de la Desertificación*
5. *Establecer estrategias para las acciones del gobierno para combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía, con miras al desarrollo sostenible en áreas susceptibles a la desertificación - ASD, y VI - promover la construcción de acuerdos para combatir la desertificación y mitigar los efectos la sequía.*

El año 2009, El Senado de Brasil aprobó un proyecto de ley que autoriza al Gobierno Federal a crear un programa permanente destinado a combatir la sequía en el noreste del país. La Cámara Baja aprobó el proyecto de ley recientemente en mayo de este año. El programa, denominado Proseca, llevará a cabo estudios detallados respecto de los recursos hídricos disponibles en la región, identificando alternativas de suministro e implementando las recomendaciones. El noreste del Brasil es una región semiárida, donde llueve sólo 2 o 3 meses al año y donde las sequías pueden durar hasta cinco años. Además, el deterioro en la calidad del agua subterránea y superficial alrededor de grandes centros urbanos, industriales y agrícolas ha exacerbado la escasez de agua natural.

#### **b.- Argentina**

El año 2003 en Argentina se aprobó en la Resolución 205 el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de los efectos de la Sequía (PAN), y su Documento Base. Junto a lo anterior, se creó la Comisión Asesora del Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Sequía. A través de este programa se espera:

1. *Contar con mecanismos institucionales de coordinación, participación y acción, a nivel nacional, provincial, municipal, del sector público y privado en la lucha contra la desertificación.*
2. *Disponer de un diagnóstico acabado de la situación, que pueda ser actualizado sistemáticamente, y que permita evaluar los avances en la lucha contra la desertificación y la mitigación de los efectos de la sequía.*
3. *Alcanzar un nivel de sensibilización, educación y capacitación que posibilite una eficaz participación de todos los estamentos sociales.*
4. *Disponer de instrumentos legales, económicos e institucionales, que permitan optimizar los esfuerzos en la lucha contra la desertificación.*
5. *Lograr la inserción y armonización del Programa de Acción Nacional con los diversos emprendimientos realizados en América Latina y en el mundo.*

El Programa de Acción Nacional también incluye la consideración de las medidas para mitigar el efecto de las sequías a nivel de todo el país. El establecimiento y/o fortalecimiento de sistemas de alarma, de prevención, de preparación y gestión en caso de sequía, como la introducción de proyectos de fomento del manejo del suelo y del agua, son elementos que deben considerarse en la elaboración de programas a nivel provincial y/o regional para el Litoral y Mesopotamia. En esta estrategia las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, que no habían participado del Programa, junto a las provincias de Formosa, Chaco, Santa Fe y

Buenos Aires, encuentran un mecanismo de inserción y de elaboración planificada de respuestas a los problemas actuales y/o potenciales de la sequía.

Actualmente, en Argentina, el Centro de Relevantamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CREAN, ha desarrollado un sistema de monitoreo de las sequías utilizando datos actualizados provistos por el Servicio Meteorológico Nacional. El pronóstico de sequías se realiza con redes neuronales y se encuentra en una etapa experimental. La labor que el CREAN está desarrollando permite mantener informado al sector público y a los productores acerca de las condiciones de sequía de la región central del país. Esta tarea se desarrolla en forma conjunta con profesionales de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable y del Servicio Meteorológico Nacional, con datos del SMN (Fuerza Aérea Argentina).

### **c.- Colombia**

En Colombia, los fundamentos de la política ambiental están determinados por Ley 99 del año 1993 que dio origen al Sistema Nacional Ambiental (Sina), integrado por entidades del estado colombiano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, corporaciones autónomas regionales, institutos de investigación, entre otros), organizaciones comunitarias y no gubernamentales que trabajan el tema y a las empresas privadas o mixtas relacionadas con la investigación, la información y el desarrollo tecnológico ambiental.

La Ley 99 de 1993 además creó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), como establecimiento público adscrito al Ministerio del Medio Ambiente, para dar apoyo técnico-científico a los organismos que forman el Sina. El Ideam tiene como función generar conocimiento y producir y suministrar datos e información ambiental, además de realizar estudios, investigaciones, inventarios y actividades de seguimiento y manejo de la información que sirvan para fundamentar la toma de decisiones en materia de política ambiental y para suministrar las bases para el ordenamiento ambiental del territorio, al manejo, el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales biofísicos del país. El Ideam, además, dirige y coordina el Sistema de Información Ambiental que comprende los sistemas de observación, la información, las bases de datos y los modelos sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Para ello, ha desarrollado módulos de información y promovido mecanismos de articulación con las autoridades ambientales regionales para formalizar los protocolos, metodologías, estándares para el acopio de datos, su procesamiento, transmisión, análisis y la difusión de la información ambiental.

El Ideam ha desarrollado una página web, <http://www.ideam.gov.co>, que entrega información de estudios, alertas vigentes y monitoreo de algunas variables. Estos productos están disponibles en este portal que se ilustra en la Figura 10.

Indicadores	Predicción climática	Alertas	Tiempo	Ríos	Pronósticos	Atlas	Meteorología	Noticias	Temas
<p><b>INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES</b></p>									
<p> <a href="#">Búsqueda</a> </p> <p> <a href="#">Comentarios</a> </p> <p> <a href="#">Diccionario</a> </p>									
<p> <a href="#">Boletines, avisos y alertas vigentes</a> </p> <p> <a href="#">Informe Diario de Alertas</a> </p> <p> <a href="#">Comunicado Especial de Alerta</a> </p> <p> <a href="#">Imagen Satelital</a> </p> <p> <a href="#">EL NIÑO 2009 - 2010</a> </p> <p> <a href="#">Pronóstico del tiempo</a> </p>									
<p> <a href="#">Aeropuertos</a> </p> <p> <a href="#">Para niños</a> </p> <p> <a href="#">Predicción climática y alertas</a> </p>									
<p> <a href="#">Biblioteca</a> </p> <p> <a href="#">Agenda ambiental</a> </p> <p> <a href="#">Noticias</a> </p>									
<p> <a href="#">Venta de información</a> </p> <p> <a href="#">Participación Ciudadana</a> </p> <p> <a href="#">Oportunidad de trabajo</a> </p> <p> <a href="#">Redes</a> </p> <p> <a href="#">Ordenación de Cuencas</a> </p> <p> <a href="#">Documentos de interés</a> </p> <p> <a href="#">Difusión del SIAC</a> </p> <p> <b>TRÁMITES</b> </p>									
<p> <a href="#">Rendición de cuentas</a> </p> <p> <a href="#">Portal Único de Contratación Colombia</a> </p> <p> <a href="#">Comisión Nacional del Servicio Civil - CNSC</a> </p> <p> <a href="#">Presidencia</a> </p> <p> <a href="#">Comisión Colombiana del Espacio</a> </p>									
<p> <a href="#">Directiva presidencial 03 de 2006</a> </p> <p> <a href="#">MAPA DEL SITIO</a> </p> <p> <a href="#">Listas de Elegibles</a> </p> <p> <a href="#">Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía Colombiana</a> </p> <p> <b>SIAT-AC</b> </p> <p> <a href="#">Premios y Becas FAAE 2009</a> </p> <p> <a href="#">Evaluación del Fenómeno El Niño o Fenómeno Calido del Pacífico en Colombia 1997-1998</a> </p>									
<p> <a href="#">Proyecto CIIFEN</a> </p> <p> </p>									

Figura 10: Portal Ideam, Colombia <http://www.ideam.gov.co/>

Específicamente, para el estudio de las sequías Ideam ha publicado un estudio que busca contribuir con una evaluación de las sequías históricas en las diferentes regiones del país, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). En este estudio se dividió el territorio colombiano en 14 zonas climáticas con comportamiento similar de la precipitación, para caracterizar la sequía. Como resultado se elaboraron mapas para cada zona en que se muestra el comportamiento espacial del IPE, Figura 11.

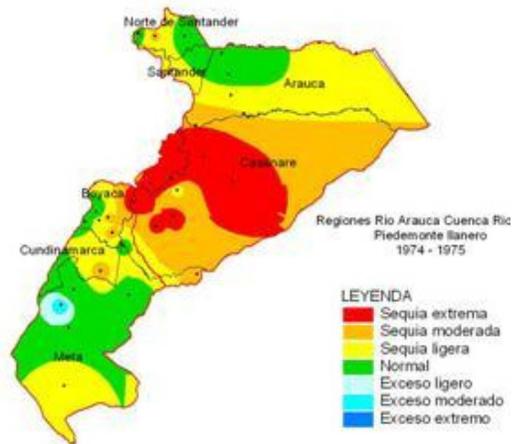


Figura 11: Distribución de los eventos de sequía en la cuenca del río Arauca, 1974-1975. Ref: <http://www.ideam.gov.co/InformaSequiaWeb.htm>

Además del análisis por regiones se elaboraron mapas nacionales para obtener una visión general del comportamiento del fenómeno en algunos periodos anuales, como el que se muestra en la Figura 12.

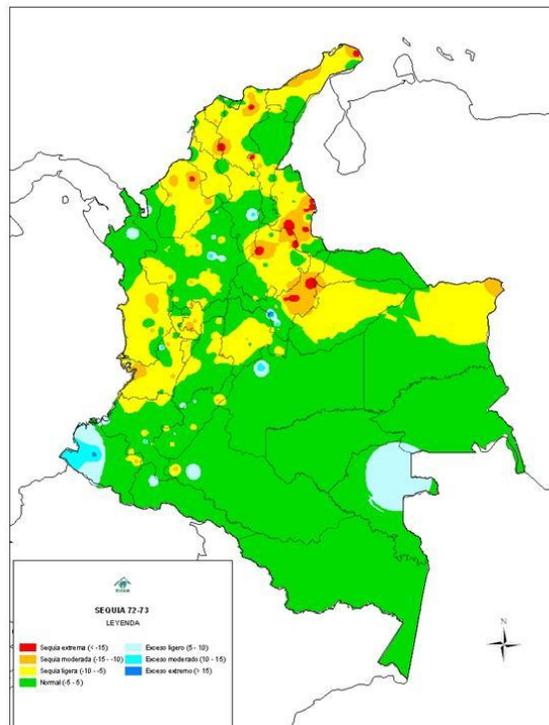


Figura 12: Distribución de la sequía en Colombia, durante el periodo de 1972-1973. Ref: <http://www.ideam.gov.co/InformaSequiaWeb.htm>

### **3.2 Acciones y criterios de la experiencia Internacional aplicables en Chile**

De acuerdo a los antecedentes revisados de la experiencia internacional sobre la gestión de sequías, es posible apreciar que las siguientes acciones y criterios podrían tener aplicación en Chile en las instancias que se indican:

- En general existe la tendencia a cambiar el enfoque de emergencias declaradas por un seguimiento e información sobre las condiciones de las sequías. Esto podría aplicarse en Chile de manera que la DGA haga un seguimiento del comportamiento de los recursos en todo el territorio nacional mediante el cual esté preparada para la declaración de condiciones de sequía con la información al día.
- La información sobre las condiciones de sequía en otros países es pública y de acceso normalmente por Internet, mediante su publicación en sitios Web. Se estima que esto es también perfectamente aplicable al caso de Chile, ya que se dispone de sitios web por parte de las instituciones y hay una cultura ya desarrollada para que el público en general busque información a través de este medio.
- La mayoría de los países consideran un indicador y criterios comunes aplicables a todo el territorio de manera uniforme, independientemente de las condiciones climáticas o administrativas. Esto ocurre incluso en países que por su extensión presentan grandes diferencias territoriales, como E.UU o Australia. En Chile se podría adoptar una política similar a pesar de las grandes diferencias climáticas que se presentan, debido que se dispone de información hidrometeorológica aceptable en todo el territorio en el cual el uso del agua tiene algún grado de significancia. Sólo la costa del desierto de Atacama y la zona insular del extremo sur, podría quedar fuera de este enfoque.
- También existe una tendencia a evaluar los riesgos agroclimáticos en la agricultura gestionados por organismos del sector y con la clara intención de preparar a los usuarios en una visión más proactiva frente al fenómeno de sequías y riesgo climático, de manera de ir adaptando las explotaciones para minimizar estos riesgos. Esto es algo que en Chile ya ha comenzado a desarrollar el Ministerio de Agricultura.

Existe una clara preferencia por usar el IPE para calificar las sequías meteorológicas. Esto claramente podría ser usado en Chile ya que se dispone de la información para ello en todo el país.

## 4 INDICADORES Y CRITERIOS

Más de una docena de indicadores y criterios para caracterizar sequías han sido propuestos en la literatura técnica. Estos indicadores y criterios son dependientes del tipo de sequía, la información disponible y los efectos esperados de ellas, y van desde los más simples, como porcentaje de lo normal, hasta sofisticadas combinaciones de indicadores en sistemas complejos. En este capítulo se presentan los indicadores más utilizados y sus principales características. Estos se resumen mediante una lista de indicadores, la información necesaria para cada uno de ellos y las ventajas e inconvenientes para ser empleados en tiempo real bajo condiciones de escasez extraordinarias que requieran la participación de la autoridad.

### 4.1 Indicadores de condiciones de sequía.

#### 4.1.1 Porcentaje de lo normal

Este es uno de los índices más simples de los empleados para caracterizar una condición de sequía, sobre todo referido a las precipitaciones. Se calcula como el cociente (en porcentaje) entre la precipitación registrada en un periodo determinado y la precipitación considerada normal para ese mismo periodo en ese lugar, que en general equivale al promedio. En general se considera el promedio de lo registrado durante los últimos treinta años como normal. Este índice puede calcularse para diferentes periodos de tiempo tales como semanas, meses, estaciones, semestres, años. Es posible de aplicar a condiciones meteorológicas e hidrológicas, pero el porcentaje de lo normal debe interpretarse con referencia al periodo y lugar considerado.

Entre las mayores ventajas de este índice es que es fácilmente comprendido por el público general, de manera que es ampliamente usado por los medios de prensa y de comunicación para referirse a las condiciones del tiempo. Por ejemplo si se informa que durante el año la precipitación ha sido un 30% de la normal en una zona el público entiende que se está en una condición de escasez, mientras que si se informa que ha sido del 150% una de exceso y si es del 95% no produce mayor inquietud. Además este índice tiene la ventaja de ser simple y rápido de aplicar.

Entre las desventajas está el hecho de que este índice supone una distribución normal (gaussiana) de la variable considerada en el cálculo, de manera que la mediana y el promedio coincidan y no se preste a interpretaciones erróneas lo que se entiende por normal. Desafortunadamente en general las precipitaciones mensuales no tienen una distribución normal. Otro problema se presenta cuando se trata de emplear para regiones extensas en las cuales se mezclan condiciones áridas y húmedas. Mientras en una región árida un 50% de lo normal es una condición habitual y puede no causar demasiada alarma, esa misma cifra en una región húmeda puede significar una situación crítica ya que refleja una situación extraordinariamente anómala. Debido a estos problemas para relacionar el porcentaje de lo normal con la frecuencia de su ocurrencia en regiones amplias y para obtener de él una idea del impacto de la situación sobre la región, este es un índice simple pero de escaso uso.

#### 4.1.2 Deciles

Gibbs y Maher (1967) usaron un análisis de frecuencia de las precipitaciones mensuales y anuales para calcular los deciles y emplearon estos como indicadores de sequías. El primer decil es la cantidad de lluvia que no es excedida por el 10 % inferior del total de los datos

disponibles, mientras que el quinto corresponde a la mediana de la distribución. Gibbs y Maher (1967) propusieron la siguiente interpretación para los deciles:

Tabla 3: Rangos para caracterizar sequías con el índice Deciles

Rango de Valores	Descripción de la situación
1	Demasiado bajo el promedio
2	Muy bajo el promedio
3	Bajo el promedio
4-7	Promedio
8	Sobre el promedio
9	Muy sobre el promedio
10	Demasiado sobre el promedio

El National Droughts Mitigation Center de la Universidad de Nebraska en cambio emplea la siguiente clasificación:

Tabla 4: Rangos para caracterizar sequías con el índice Deciles, de Universidad de Nebraska

Rango de Valores	Descripción de la situación
1 y 2	Muy bajo el promedio
3 y 4	Bajo el promedio
5 y 6	Promedio
7 y 8	Sobre el promedio
9 y 10	Muy sobre el promedio

Este método permite solucionar algunos de los problemas detectados en el Índice “Porcentaje de lo Normal” para ser empleado en una región no homogénea, ya que un mismo valor tendría la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier punto de la región y significa por lo tanto que es igualmente común o extraordinario para todos los afectados y puede tener impactos similares. Uno de los inconvenientes de este método es que para determinar de manera razonable las condiciones de sequías extraordinarias, o deciles extremos, se requiere disponer de una cantidad importante de información, de al menos 30 años.

También pueden considerarse los deciles como indicadores de sequías hidrológicas. Beran y Rodier (1985) mencionan que en Europa se utilizan con la siguiente clasificación:

Tabla 5: Rangos para caracterizar sequías con el índice Deciles en Europa

Probabilidad de excedencia	Descripción de la situación
0 a 0,15	Muy húmedo
0,15 a 0,35	Húmedo
0,35 a 0,65	Normal
0,65 a 0,85	Seco
0,85 a 1	Muy seco

#### 4.1.3 Índice de Precipitación Estandarizada (SPI o IPE)

Este índice fue desarrollado por McKee et al. (1993) debido a que un déficit de precipitación tiene diferentes impactos sobre el agua subterránea, los almacenamientos en embalses, humedad del suelo, mantos de nieve y los caudales, dependiendo además de su duración. Se sabe que la humedad del suelo responde en un plazo breve a la falta de precipitación, en cambio los escurrimientos lo hacen en forma más lenta, y los acuíferos reaccionan a más largo plazo. Para considerar ambos efectos propuso la estimación del índice para diferentes escalas de tiempo, empleando por ejemplo los valores acumulados de 1, 3, 6, 12 o incluso 48 meses, de manera que al emplear conjuntamente el déficit y su duración se refleje este impacto. El SPI se calcula tomando la diferencia entre la precipitación registrada y el promedio de un periodo de tiempo en especial, y dividiéndolo por la desviación típica correspondiente. Debido a que la precipitación para periodos de menos de 12 meses generalmente no está distribuida normalmente, se efectúa una corrección para transformar el SPI en normal, de manera que para cada lugar el SPI tiene promedio cero y desviación típica uno. Esto permite además representar condiciones húmedas y secas mediante el mismo indicador. McKee et al. (1993) proponen definir una condición de sequía cuando el valor del SPI es continuamente negativo y alcanza el valor  $-1$  ó menos. La sequía termina cuando SPI vuelve a ser positivo. Para clasificar las condiciones de sequía proponen la siguiente clasificación:

Tabla 6: Rangos para caracterizar sequías con el índice SPI

Rango de Valores	Descripción de la situación	Período de Retorno (años)
0 a -0,99	Normal	2
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	6,3
-1,5 a -1,99	Sequía severa	15
-2 y menos	Sequía extrema	44

La descripción de la situación se refiere al riesgo de ocurrencia de una sequía como la identificada, por lo tanto destaca la ocurrencia de una falta de oferta natural, reflejada en las precipitaciones, y no de los efectos que dependerán de los usos del recurso. Las sequías extremas presentan entonces una probabilidad de aparecer de 2,3%, es decir ocurren en promedio durante 2,3 años cada 100, con un periodo de retorno del orden de 44 años. Esto

permite clasificar las sequías y también tener una idea de su probabilidad, la que es aplicable a todos los lugares debido a la normalización del índice.

Este índice ha sido empleado para observar las condiciones de sequía en Colorado durante el periodo 1994-95. Se pueden observar mapas de él en ese estado en la página web de Colorado State University (<http://ulysses.atmos.colostate.edu/spi>). También está siendo calculado para todo EE.UU. continental por el Western Regional Climate Center (WRCC) y se puede consultar en <http://www.drought.unl.edu/monitor/archivedspi.htm>. En la Figura 13 se muestra el valor del SPI en EE.UU. para 3 meses terminando en enero de 2006.

### 3-month SPI through the end of January 2006

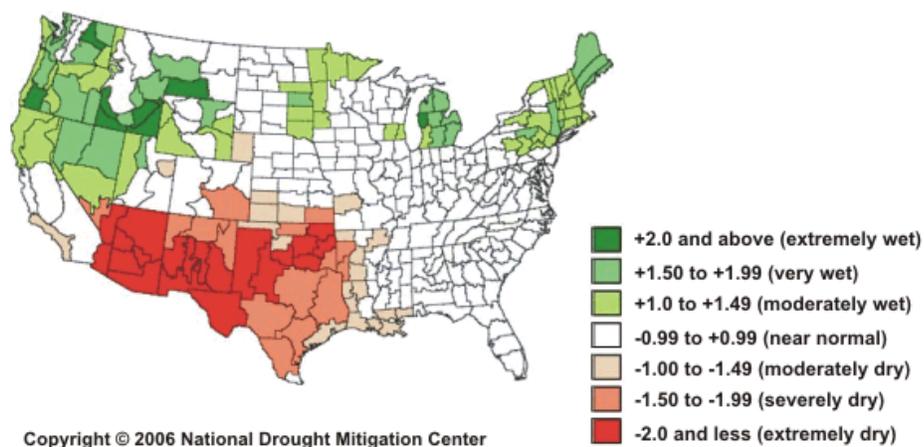


Figura 13: Mapa de SPI para tres meses en EE.UU. elaborado por el National Drought Mitigation Center.

#### 4.1.4 Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI)

En 1965 Palmer desarrolló un índice para medir la falta de disponibilidad de humedad (Palmer, 1965), el cual con el tiempo ha sido el más utilizado de los indicadores de condiciones de sequías debido en parte al amplio uso que ha hecho de él el Departamento de Agricultura de EE.UU. Ahora se conoce como PDSI. El índice se basa en los conceptos de balance hídrico en un lugar considerando la oferta y demanda de agua e incorporando varios aspectos adicionales al déficit de precipitación. El PDSI se calcula sobre la base de los datos de precipitación y temperatura así como el contenido de humedad disponible del suelo, determinando los principales componentes del balance hídrico, incluyendo la evapotranspiración, recarga del suelo, escorrentía y pérdidas de humedad de la capa superficial. El agua de riego no se incluye.

Si bien Palmer lo propuso como un índice para las sequías meteorológicas, es más bien un índice de sequías agrícolas y así es empleado habitualmente. Tiene serias limitaciones para observar sequías hidrológicas, relacionadas con aproximaciones en el cálculo del balance hídrico para asignar los aportes desde cada una de las fuentes, (Alley, 1985).

Los antecedentes necesarios para realizar un análisis mensual son los siguientes: precipitación mensual promedio sobre la zona, temperatura mensual promedio en la zona y una estimación de la capacidad de campo de los suelos locales. El análisis puede efectuarse diaria o

semanalmente con el mismo procedimiento. Se requieren registros relativamente largos, mayores de 30 años, para obtener valores representativos para la región ya que las sequías se definen en términos de desviación de las condiciones normales.

Si bien es relativamente complejo de calcular, el resultado del PDSI es un número simple que toma valores en el rango de  $-6,0$  a  $+6,0$ . Palmer arbitrariamente seleccionó una escala de clasificación basada en los estudios originales desarrollados en Iowa y Kansas, de acuerdo a los siguientes valores:

Tabla 7: Rangos para caracterizar sequías con el índice de Palmer

Rango de Valores	Descripción de la situación
4,00 o más	Extremadamente húmedo
3,00 a 3,99	Muy húmedo
2,00 a 2,99	Moderadamente húmedo
1,00 a 1,99	Ligeramente húmedo
0,50 a 0,99	Inicio de un período húmedo
-0,49 a 0,49	Condiciones normales
-0,50 a -0,49	Prácticamente normal
-1,00 a -1,99	Sequía suave
-2,00 a -2,99	Sequía moderada
-3,00 a -3,99	Sequía severa
-4,00 o menos	Sequía extrema

El procedimiento puede resumirse en las siguientes etapas:

- Balance hidrológico: desarrollar un balance hidrológico mensual considerando las series de temperatura y precipitación.
- Coefficientes climáticos: resumir los resultados del balance hidrológico para obtener constantes, o coeficientes, que dependen del clima de la zona analizada.
- Demanda de humedad: volver a analizar las series empleando los coeficientes encontrados para determinar la cantidad de humedad requerida en condiciones normales durante cada mes.
- Anomalía de humedad: determinar las desviaciones de las condiciones normales y transformar estas desviaciones en valores índices de anomalías de humedad.
- Características de las sequías: analizar las series de índices para desarrollar criterios para estimar el inicio y fin de las sequías y una ecuación para la severidad de las sequías.

#### 4.1.5 Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI)

El SWSI fue desarrollado por Shafer y Dezman (1982) para complementar el Índice de Palmer para condiciones de humedad en todo el estado de Colorado. El Índice de Palmer es básicamente un algoritmo de la humedad del suelo calibrado para regiones relativamente homogéneas, pero no está diseñado para grandes variaciones topográficas a través de una región y no toma en cuenta la acumulación de nieve y su posterior escorrentía. Shafer y Dezman diseñaron el SWSI para ser un indicador de las condiciones de agua superficial y describieron el índice como "dependiente de agua de montaña", en el que la acumulación de nieve de las montañas es el componente principal.

El objetivo de la SWSI fue incorporar las características hidrológicas y climatológicas en un solo índice, semejante al Índice de Palmer, para cada cuenca hidrográfica en el estado de Colorado (Shafer y Dezman, 1982). Estos valores fueron estandarizados para permitir la comparación entre cuencas. Cuatro entradas son necesarias en el SWSI: nieve, caudales, precipitación, y almacenamiento de embalses. Debido a que este índice depende de la temporada del año, se calcula sólo con la capa de nieve, precipitación, y almacenamiento de los embalses en el invierno, y durante los meses de verano, el caudal sustituye a la capa de nieve como un componente dentro de la ecuación de SWSI.

El procedimiento para determinar el SWSI para una cuenca en particular es el siguiente: se recogen y suman los datos mensuales de precipitaciones, nivel de embalses, y la capa de nieve o caudales de todas las estaciones de la cuenca. Cada dato de la suma se normaliza mediante un análisis de frecuencia obtenido de una serie de datos de largo plazo. La probabilidad de no excedencia - la probabilidad de que las sumas posteriores de dicho componente no sean mayores que la suma actual - se determina para cada componente basado en el análisis de frecuencia. Esto permite realizar comparaciones de las probabilidades entre los componentes. Cada componente tiene un peso asignado en función de su contribución típica al agua superficial de la cuenca, y estos componentes ponderados se suman para determinar un valor SWSI que representa toda la cuenca. Al igual que el Índice de Palmer, el SWSI está centrada en cero y tiene un rango entre -4,2 y 4,2.

El SWSI se ha utilizado, junto con el Índice de Palmer, para gatillar la activación y desactivación del Plan de Sequía de Colorado. Una de sus ventajas es que da una medida representativa de los suministros de agua superficial en todo el estado. También ha sido modificado y aplicado en otros estados del oeste de los EE.UU., incluyendo Oregon, Montana, Idaho y Utah. Sin embargo, algunas de sus características limitan su aplicación, por el hecho de que el SWSI se calcula específicamente para cada cuenca o región, haciendo difícil la comparación entre unas y otras. Cualquier cambio o interrupción en las mediciones tomadas por cualquier estación de observación, o en la gestión del agua dentro de la cuenca, como puede ser la desviación del cauce o el establecimiento de nuevos embalses, significa que todo el cálculo del SWSI para esa cuenca tiene que ser realizado de nuevo, al objeto de tener en cuenta las nuevas distribuciones de frecuencia y/o los cambios en el peso de cada elemento de las sumas. Por lo tanto, es difícil mantener una serie temporal homogénea del índice (Heddinghaus y Sabol, 1991).

Los eventos extremos también pueden causar un problema si están más allá de las series históricas, y el índice debe ser reevaluado a fin de incluir estos eventos dentro de la distribución de frecuencia del componente de la cuenca.

#### 4.1.6 Índice de recuperación de sequías (RDI)

El Índice de Recuperación de Sequía (RDI), ha sido recientemente desarrollado como una herramienta para evaluar la gravedad y la duración de la sequía, y para predecir el inicio y el final de los períodos de sequía (Weghorst, 1996). El impulso para elaborar el RDI vino de la Ley “Reclamation States Drought Assistance” de 1988, que permite a los Estados solicitar asistencia de la Oficina de Rehabilitación para mitigar los efectos de la sequía. Al igual que con el SWSI, el RDI se calcula a nivel de cuenca fluvial, e incorpora los componentes de la precipitación, nieve, caudales y niveles de los embalses. El RDI se diferencia de la SWSI en que incorpora una componente de temperatura basada en la demanda y la duración en el índice. El RDI es adaptable a cada región en particular y su principal fortaleza es su capacidad para tener en cuenta tanto el clima como los factores de suministro de agua.

Tabla 8: Rangos para caracterizar sequías con el índice RDI

Rango de Valores	Descripción de la situación
4.0 o más	extremadamente húmedo
1.5 a 4.0	humedad moderada
1 a 1.5	normal a humedad leve
0 a -1.5	normal a sequía leve
-1.5 a -4.0	sequía moderada
-4.0 o menos	sequía extrema

Oklahoma ha desarrollado su propia versión del índice y los planes para utilizar el índice como una herramienta dentro del sistema de seguimiento designado en el plan de la sequía del estado. Los valores y rangos de gravedad del RDI son similares a los SPI, PDSI, y SWSI.

#### 4.1.7 Índice de Humedad de Cultivos (CI)

Este índice utiliza un enfoque meteorológico para seguir semana a semana la humedad de los cultivos. Fue desarrollado por el propio Palmer (1968) con procedimientos similares a los empleados en el cálculo del PDSI. Mientras el índice de Palmer considera condiciones meteorológicas de largo plazo, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad en plazos cortos en las principales regiones productoras agrícolas de EE.UU. Se basa en el valor de la semana anterior, corregido por la temperatura media y la precipitación total de la semana. De esta manera este índice responde rápidamente a los cambios de las condiciones semanales. Mapas semanales de este índice están disponibles en [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/regional\\_monitoring/cmi.gif](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/cmi.gif).

Debido a que está diseñado para ajustarse rápidamente a los cambios semanales este índice no es muy adecuado como una herramienta para observar las sequías de largo plazo. Además sigue muy de cerca las condiciones y necesidades de los cultivos, de manera que el índice se anula al principio y final de las temporadas correspondientes, independientemente de lo que ocurra con la sequía.

Las siguientes tablas indican a modo de ejemplo las condiciones de sequías y los correspondientes valores del CI adoptados por los estados de Georgia y Texas (EE.UU.)

Tabla 9: Rangos para caracterizar sequías con el índice Cien Georgia

Rango de Valores en Georgia	Descripción de la situación
-3.0 o menos	Severamente seco
-2.0 a -2.9	Excesivamente seco
-1.0 a -1.9	Anormalmente seco
-1.0 a 1.0	Ligeramente seco a Favorablemente húmedo
1.0 a 1.9	Anormalmente húmedo
2.0 a 2.9	Húmedo
3.0 o más	Excesivamente húmedo

Tabla 10: Rangos para caracterizar sequías con el índice CI en Texas

Rango de Valores en Texas	Descripción de la situación
-4 o menos	Extremadamente seco
-3.0 a -3,9	severamente seco
-2.0 a -2.9	Excesivamente seco
-1.0 a -1.9	Anormalmente seco
0 a -1.0	Medianamente seco
0.0 a 1.0	Humedad Adecuada
1.0 a 1.9	Campos muy húmedos
2.0 a 2.9	Agua en exceso sobre el suelo
3.0 o más	Inundaciones

#### 4.1.8 Índice de aridez de UNESCO

Las Naciones Unidas se ha preocupado de mantener una clasificación climática de las distintas regiones del mundo. Para ello ha utilizado el Índice de Aridez (UNESCO, 1979), definido como la razón entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial respectiva de la región, P/ETP. Cuando la disponibilidad de datos lo permite, la ETP se ha calculado de acuerdo al procedimiento de Penman (UNESCO, 1979). Sin embargo, debido a que en muchas regiones del globo no hay datos suficientes para el uso de este método, en la elaboración del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1992) se empleó el método de Thornthwite. Los valores asignados a la clasificación son los siguientes Bruins (1997):

El índice de aridez no es estrictamente un índice de sequías, sin embargo se puede adoptar uno similar para ellas. Para tal propósito, se puede por ejemplo emplear la diferencia entre la precipitación y la precipitación media en lugar de la precipitación (Subrahmanyam, 1967).

Tabla 11: Rangos para caracterizar sequías con el índice de aridez de UNESCO

Zona climática	P/ETP (Penman) UNESCO, 1979	P/ETP(Thornthwite) UNEP, 1992	Variabilidad interanual de lluvias
Híper árido	<0,03	<0,05	>100%
Árido	0,03-0,2	0,05 a 0,2	50 a 100%
Semiárido	0,2- 0,5	0,2 a 0,5	25 a 50%
Sub húmedo	0,05-0,75	0,5 a 0,65	<25%

#### 4.1.9 Indicador de Aridez de Palfai (PAI)

Este indicador lo desarrolló Palfai (1984), principalmente para su uso en Hungría y la cuenca Cárpata, para caracterizar la intensidad de una situación de aridez (sequedad), mediante un único dígito derivado de unos pocos parámetros meteorológicos e hidrológicos. En la fórmula básica para el cálculo del indicador de aridez (PAI<sub>0</sub>), la temperatura media del aire (°C) en el período entre abril y agosto, se divide entre la precipitación total (mm), obtenida como suma de los valores mensuales ponderados entre octubre y agosto, y se multiplica por 100. La ponderación mensual de la precipitación se basa en las condiciones de almacenamiento de humedad y en los cambios de la demanda general de agua por los cultivos, variando desde 0,1 para octubre hasta 1,6 en julio (mes más crítico en lo referido al suministro de agua).

Para expresar la aridez con mayor exactitud se debe corregir el valor base del PAI<sub>0</sub> mediante los siguientes factores:

- Factor de corrección de la temperatura (días calurosos) ( $K_t$ ). Este factor corresponde a la relación entre el número de días calurosos ( $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ ) durante el periodo de junio a agosto, y la media nacional multianual de este valor que, para Hungría, es de 16 días.
- Factor de corrección de la precipitación ( $K_p$ ). Este factor corresponde a la relación entre el número de días del periodo más largo de pluviometría mínima (cuando la suma de las precipitaciones en días sucesivos no excede, como máximo, de 5 ó 6 mm), entre mediados de junio y mediados de agosto, y la media nacional multianual del mismo valor que, para Hungría, son 20 días.
- Factor de corrección de aguas subterráneas ( $K_{gw}$ ). Este factor corresponde a la relación entre la profundidad media del manto freático durante los meses de noviembre a agosto, y el valor plurianual de esta profundidad en una zona específica. El empleo de este factor de corrección es importante para zonas llanas. En la práctica, lo mejor es utilizar los datos de los 2 ó 3 pozos de observación más próximos a la estación meteorológica o al punto de observación de otros datos.

El valor final del Indicador de Aridez Palfai (PAI) se obtiene a partir del valor base (PAI<sub>0</sub>), corregido como sigue:

$$\text{PAI} = K_t \times K_p \times K_{gw} \times \text{PAI}_0$$

Según experiencias realizadas en Hungría, el umbral de partida del Indicador de Aridez Palfai debería ser PAI = 6.0. Los valores menores, para un lugar concreto, corresponden a años

húmedos, mientras que los superiores indicarían diferentes grados de severidad de la sequedad, hasta llegar a valores de 12 o más para sequías extremas.

El indicador se puede utilizar para hacer comparaciones entre situaciones húmedas y/o secas de diferentes periodos así como de diferentes áreas, y también es válido para fines de predicción, siempre y cuando el cálculo de los valores del PAI se haga de manera continuada.

#### 4.2 Necesidades para ser empleado en condiciones reales

Los índices anteriormente descritos se resumen en la Tabla 12 la cual compara los índices, el lugar donde se utilizan, el tipo de sequía al cual se orientan y la información requerida para el cálculo. Para asegurar el cálculo adecuados de los índices para el monitoreo de sequías en un lugar y periodo de tiempo específico, se requiere que esta información sea completa y válida.

Tabla 12: Resumen de Características de Cada Índice

Nombre	Sigla	Utilización	Tipo de Sequía	Necesidad de Información
Porcentaje de lo Normal	PPN	Chile, Res 39 de 1984	Meteorológica o Hidrológica	Precipitación Caudales
Deciles	Dec.	Sistema Australiano de Alerta de Sequías	Meteorológica o Hidrológica	Precipitaciones o Caudales
Índice de Precipitación Estandarizada	SPI	Colorado State University, Western Regional Climate center (WRCC)	Meteorológica Hidrológica	Precipitación Caudal
Índice de Severidad de Sequía de Palmer	PDSI	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos	Meteorológica y Agrícola	Precipitación, Temperatura y Contenido de humedad del suelo (capacidad de campo)
Índice de Suministro de Agua Superficial	SWSI o ISAS	Los estados del oeste de Estados Unidos	Meteorológica o Hidrológica	Acumulación de nieve, Caudal, Precipitación, Niveles en embalses
Índice de recuperación de Sequías	RDI	USBR (Bureau of Reclamation), the State of Oklahoma	Hidrológica	Temperatura, Precipitación, Acumulación de nieve, Caudales y Niveles de los embalses.
Índice de la Humedad del Cultivo	IHC o CI	regiones productoras agrícolas de USA	Meteorológica y potenciales sequía agrícolas	Precipitación , Temperatura
Índice de Aridez UNESCO		Naciones Unidas, UNESCO, 1979. UNEP,1992	Agrícola	Precipitación, Evapotranspiración
Índice de Aridez de Palfai	PAI	Hungría	Meteorológica	Temperatura , Precipitación, niveles agua subterránea

### 4.3 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas

Las ventajas e inconvenientes más destacados de cada índice se comparan en la siguiente tabla.

Tabla 13: Ventajas y Desventajas de cada Índice

Nombre	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad para Chile
Porcentaje de lo Normal	(1) Simple de calcular y aplicar. (2) Aplicable a distintas escalas de tiempo. (3) Fácil de comprender por el público general.	(1) Supone distribución normal de los datos, cuando las precipitaciones no cumplen esta propiedad. (2) Aplicable solo a regiones con condiciones homogéneas de humedad. (3) Requiere un largo registro de variables hidrometeorológicas (4) No da información sobre el riesgo.	Es perfectamente aplicable y de hecho se está usando como uno de los indicadores en algunas regiones. Tiene el inconveniente de que debe evaluarse para cada zona y no se puede usar como criterio uniforme.
Deciles	(1) Simplicidad de Cálculo. (2) Medida estadística precisa (3) Da información sobre riesgos	(1) Requiere un largo registro de variables hidrometeorológicas (2) Poco relevante en series asimétricas o climas semiáridos, con valores nulos	También se puede aplicar en Chile, pero presenta dificultades para explicarlo en zonas árida, semiáridas con valores nulos.
Índice de Precipitación Estandarizada	(1) Identifica sequías tempranamente en comparación a otros índices como Palmer. (2) Puede usar distintas escalas de tiempo. (3) permite uso en climas secos y húmedos	(1) No considera la demanda ni los efectos en ella de las sequías	Se puede aplicar a todo el territorio nacional, incluyendo zonas áridas y húmedas, y considerando sequías meteorológicas e hidrológicas.
Índice de Severidad de la Sequía de Palmer	(1) Resultado simple y de fácil interpretación. (2) Incorpora evapotranspiración o las demandas agrícolas	(1) Complejo de calcular, (2) Requiere registros largos. (3) No está diseñado para grandes variaciones topográficas a través de una región. (4) No considera la acumulación y derretimiento de nieve.	Solo se puede aplicar en zonas restringidas n las cuales se cuente con información sobre suelos y cultivos. No sirve para regiones de montaña.
Índice de Suministro de Agua Superficial	(1) Incorpora nieve y embalses (2) Es fácil de calcular (3) Separa épocas de invierno y verano	(1) El índice es único para cada cuenca lo que limita las comparaciones entre cuencas	No es aplicable en general a todo el territorio. Solo está restringido a algunas cuencas que cuentan con información

Nombre	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad para Chile
Índice de recuperación de Sequías	(1) Incorpora temperatura, y por lo tanto evapotranspiración. (2) Incorpora la duración de la sequía	(1) No permite comparación con otras cuencas	No se puede aplicar de manera uniforme a u territorio extenso. Debe calcularse por cuencas. No se recomienda para Chile.,
Índice de la Humedad del Cultivo	(1) No requiere largos registro de datos. (2) Identifica rápidamente los cambios de humedad	(1) No adecuado para sequías de largo plazo, solo cambios semanales (2) No permite la gestión de recursos hídricos en general	No es aplicable a recursos hídricos
Índice de Aridez UNESCO	(1) Simplicidad de cálculo	(1) No es índice de sequías, pero se puede adaptar cambiando P por $P_{media}$ )	No tiene sentido para un territorio extenso con mucha variabilidad climática que incluye zonas húmedas.
Índice de Aridez de Palfai	(1) Permite hacer comparaciones entre distintas zonas	(1) Factores de corrección utilizados fueron calculados para las cuencas de Hungría	No es aplicable directamente ya que los factores de corrección están estimados para otra realidad.

## 5 FENÓMENOS COMPLEJOS

Desde el punto de vista del comportamiento de las sequías en Chile interesa analizar la influencia que pueden tener sobre ellas en el futuro fenómenos complejos que se dan a nivel global y que fundamentalmente corresponden a ENOS y el cambio climático.

En general se acepta que los efectos de fenómenos como El Niño y La Niña, ENOS en términos generales, han quedado reflejados en la estadística histórica y por lo tanto están representados en el comportamiento de las variables disponibles. Sin embargo esto no evita que se analice la situación operativa frente a estas condiciones para la administración de los recursos en condiciones específicas. En la gestión de los recursos hídricos el seguimiento de ENOS puede colaborar en el pronóstico a corto plazo de las condiciones de sequía o la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones inusualmente altas en Chile central. En general existe evidencia que las sequías en la zona central de Chile están vinculadas a la ocurrencia de La Niña, mientras que las precipitaciones intensas se relacionan con la ocurrencia de El Niño.

En relación a situaciones como el cambio climático el caso es distinto ya que ello puede afectar la estacionalidad de los fenómenos meteorológicos, de manera que las probabilidades de ocurrencia o el riesgo de la aparición de fenómenos extremos puede verse afectada. En este sentido es posible que los datos de 30 o más años de estadística pasada no sean representativos de lo que se espera ocurra en el futuro. Es necesario estudiar la forma en que se podría afectar la definición de condiciones hidrológicas normales y, por lo tanto, la clasificación de eventos de sequía, así como la necesidad de desarrollar métodos robustos que puedan adaptarse a condiciones cambiantes en el futuro.

A continuación se presenta una definición de los fenómenos complejos de interés para posteriormente proponer la forma en que pueden incorporarse al estudio específico de la resolución para identificar sequías, de manera de considerar previamente sus consecuencias.

### 5.1 Definición de fenómenos complejos ENOS

#### 5.1.1 El niño.

El Niño se denomina a un fenómeno natural en el cual se altera el sistema global océano-atmósfera, y que se origina en la región del Pacífico intertropical, generalmente durante un período comprendido entre diciembre y marzo cada cierta cantidad de años. Este fenómeno se caracteriza porque la superficie del mar y la atmósfera sobre él presentan temperaturas más altas de lo normal en el área comprendida entre las costas sudamericanas y de Oceanía.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMCh), explica a través de su portal Web<sup>23</sup> que durante el fenómeno de El Niño los vientos Alisios que en condiciones normales soplan en la región intertropical desde América hacia Oceanía, se 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 del norte de Chile. En la atmósfera media y alta del Pacífico ecuatorial, los vientos del

23 Dirección Meteorológica de Chile de la Dirección General de Aeronáutica Civil. [http://www.meteochile.cl/nino\\_nina/nino\\_nina.html](http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina.html)

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 las zonas 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. Esta situación se esquematiza en la Figura 14 y Figura 15, donde se muestra la zona afectada por el fenómeno en condiciones normales y en condiciones de El Niño.

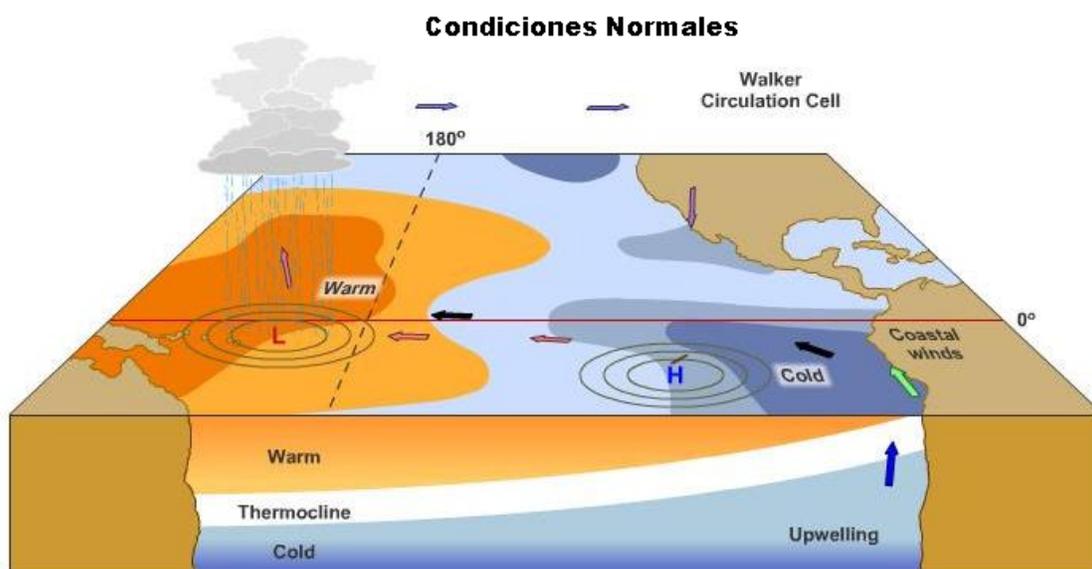


Figura 14: Esquema de Fenómenos Atmosféricos Complejos: Condiciones Normales. Fuente: *Geoscience Animations* [http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26\\_NinoNina.html](http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

Según la DMCh, en Chile el fenómeno se evidencia en las costas de la zona norte durante el período de máxima intensidad de El Niño, en el cual se presentan condiciones cálidas asociadas a la disminución de la presión atmosférica. Este calentamiento del agua marina inhibe el afloramiento de aguas frías, ricas en microorganismos, desde las profundidades marinas, aumentándose la temperatura del aire en 1 a 2° sobre lo normal. En el resto del país no se observan variaciones de temperatura significativas. En el caso de las precipitaciones, los efectos del fenómeno de El Niño se pueden observar desde la III a la VII regiones. Los cambios se evidencian tanto en un aumento de las precipitaciones totales como en un aumento de la intensidad de las lluvias, lo que afecta a diferentes sectores económicos del país.

La Dirección Meteorológica de Chile, según los análisis de registros históricos de la temperatura superficial del mar y de información satelítica de las últimas décadas en la región del Pacífico ecuatorial, define como períodos cálidos o El Niño, los siguientes años del pasado

siglo, en los cuales se inició uno de estos eventos: 1902, 1905, 1911, 1914, 1918, 1925, 1929, 1939, 1941, 1953, 1957, 1965, 1972, 1976, 1982, 1986, 1992 y 1997.

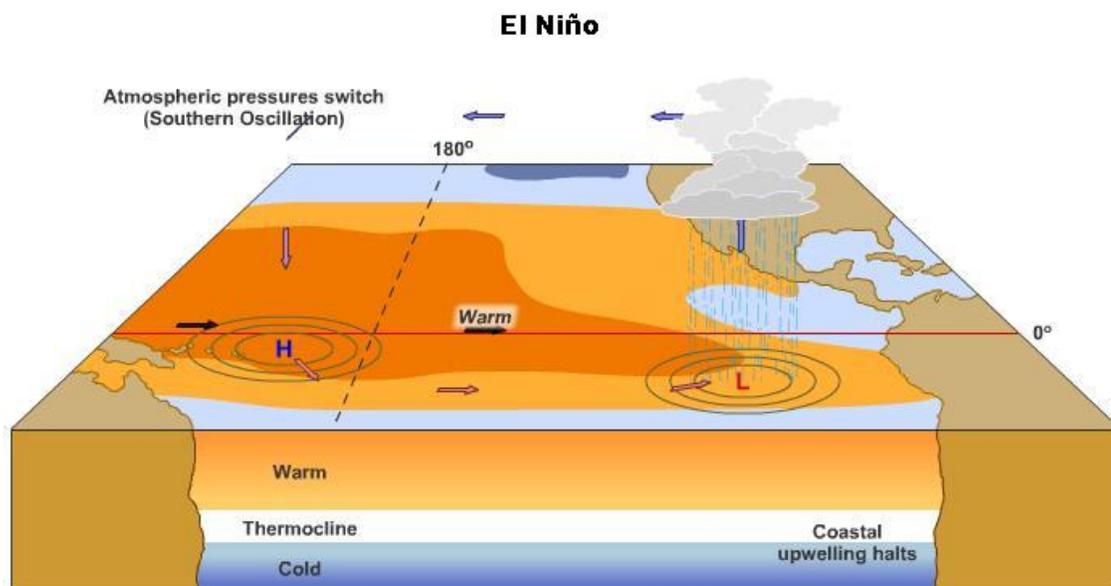


Figura 15: Esquema de Fenómenos Atmosféricos Complejos: El niño. Fuente: Geoscience Animations [http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26\\_NinoNina.html](http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

### 5.1.2 La niña.

Al igual que el fenómeno de El Niño, La Niña es un fenómeno natural de alteración del sistema global océano-atmósfera, que ocurre en la región del Pacífico ecuatorial cada cierto número de años. Al contrario de El Niño, se caracteriza principalmente por presentar condiciones de la temperatura del mar más frías que lo normal.

En este caso los vientos alisios comienzan a ser más intensos que en condiciones normales, favoreciendo de esta manera el arrastre de aguas superficiales más frías que existen en la región oriental del Pacífico hacia la parte occidental (Figura 16). 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. Esto origina que la zona de altas presiones ubicadas en la parte norte y central de Chile y área oceánica aumente en intensidad y extensión espacial, impidiendo el ingreso de sistemas frontales y el desarrollo de nubosidad asociada a precipitaciones en la zona central y sur de Chile<sup>24</sup>.

24 Dirección Meteorológica de Chile de la Dirección General de Aeronáutica Civil. [http://www.meteochile.cl/nino\\_nina/nino\\_nina.html](http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina.html)

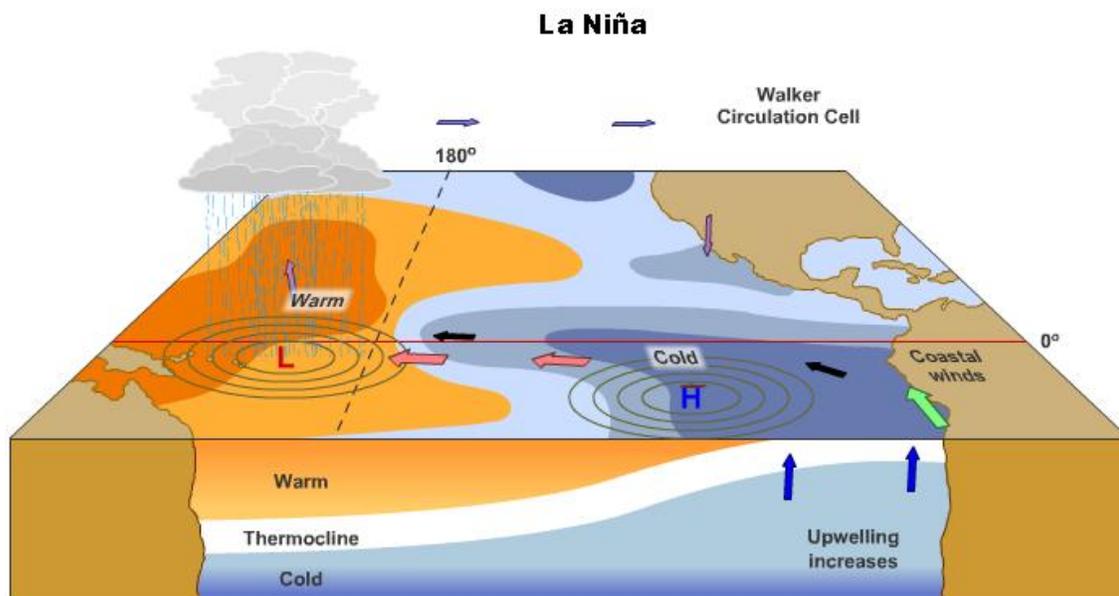


Figura 16: Esquema de Fenómenos Atmosféricos Complejos: La Niña. Fuente: Geoscience Animations. [http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26\\_NinoNina.html](http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

En Chile, las temperaturas de las zonas sur y austral no se ven especialmente afectadas, pero la zona norte experimenta una disminución de la temperatura del aire de entre 1 y 2 grados Celsius bajo lo normal. Las precipitaciones en el país se ven afectadas desde la VIII región al norte, observándose una disminución de lluvias a lo largo del año. La Dirección Meteorológica de Chile advierte que a causa de este fenómeno, la región central de Chile (entre la V y la VII Región), ha llegado a experimentar una disminución de la pluviometría de hasta un 79%, con consecuencias catastróficas en algunos sectores económicos del país, tales como el sector agrícola (secano costero), ganadero, energético (disminución de recursos hidroeléctricos) y minero.

Los análisis de la temperatura superficial del mar en la región del Pacífico ecuatorial, definen como períodos fríos de La Niña, los siguientes años de inicio: 1904, 1908, 1910, 1916, 1924, 1928, 1938, 1950, 1955, 1964, 1970, 1973, 1975, 1988, 1995 y 1998.

---

## 5.2 Observaciones cuantitativas de los fenómenos e indicadores

### 5.2.1 Instrumentación y variables explicativas.

Tanto durante el desarrollo del fenómeno de El Niño como de La Niña, se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y la velocidad del viento y se desplazan las zonas habituales de lluvia en las regiones tropicales. Producto de lo anterior, en el océano se da origen a una anomalía que puede medirse en el cambio de la temperatura superficial del mar, SST, en comparación con las condiciones normales. Estos síntomas son empleados para el seguimiento de las condiciones del fenómeno para desarrollar relaciones cuantitativas entre los fenómenos meteorológicos vinculados.

Desde agosto de 1992, y gracias a un programa conjunto entre Francia y EE.UU., se dispone del satélite TOPEX/Poseidon para medir el nivel del mar mediante un altímetro de alta resolución en trayectorias que se repiten cada 10 días. Esta información es empleada para relacionar los cambios en las corrientes del océano con el comportamiento de la atmósfera (valores disponibles en <http://topex-www.jpl.nasa.gov> y <http://podaac.jpl.nasa.gov>). La Figura 17 muestra las desviaciones de altura del mar observados por el satélite TOPEX/Poseidon para un mes de 1997, año en que se desarrolló una situación de El Niño y un mes de 1999, año en que se desarrolló una situación de La Niña. Otros satélites más nuevos con la misma gama de instrumentos de TOPEX/Poseidon, son el Jason-1 y el OSTM/Jason-2.

Recientemente se han obtenido importantes avances mediante el programa TAO (Tropical Atmosphere Ocean), desarrollado bajo los auspicios del programa internacional TOGA, (Tropical Ocean Global Atmosphere), el cual ha puesto en operación un sistema de observación para apoyar el estudio de las interacciones océano atmósfera de gran escala. Este sistema ha colocado 70 boyas ancladas en el Pacífico ecuatorial entre los paralelos 8°N y 8°S que es utilizado para observar en tiempo casi real las condiciones de velocidad del viento en superficie, la SST, humedad del aire y las temperaturas del mar entre los 10 y los 500 m de profundidad. Además algunas miden corrientes, precipitación, radiación de onda corta y salinidad. Posteriormente a la red de boyas TAO o TAO/TRITON, se agregaron las del programa PIRATA en el Océano Atlántico y RAMA en el Índico. Se puede acceder a esta información vía Internet en <http://www.pmel.noaa.gov/tao/jsdisplay/>. En la Figura 18 se muestra la ubicación de las boyas del programa TAO/TRITON, RAMA y PIRATA.

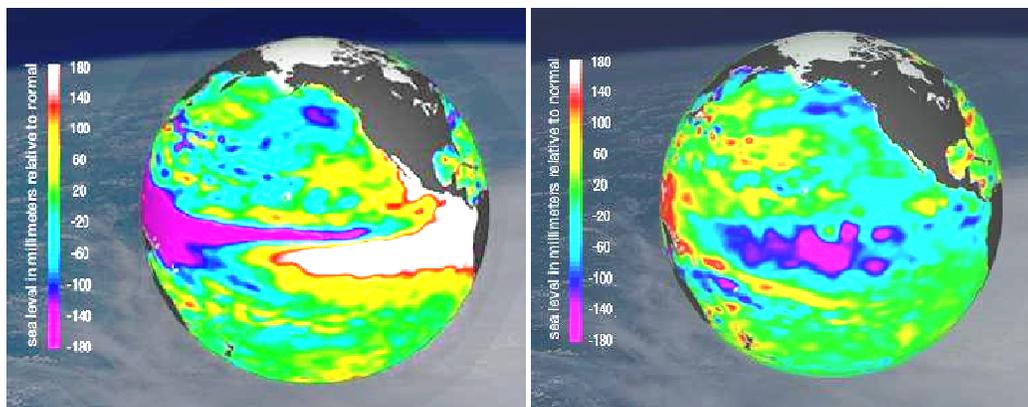


Figura 17: Izquierda: Anomalías de las alturas medias del mar medidas con el satélite TOPEX/Poseidon en 1997. Derecha: Anomalías de las alturas medias del mar en 1999.

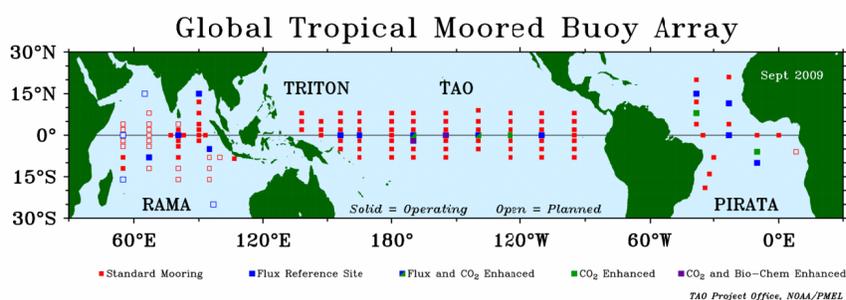


Figura 18: Ubicación de las Boyas de los programas TAO/TRITON, PIRATA y RAMA.  
<http://www.pmel.noaa.gov/tao/global/global.html>

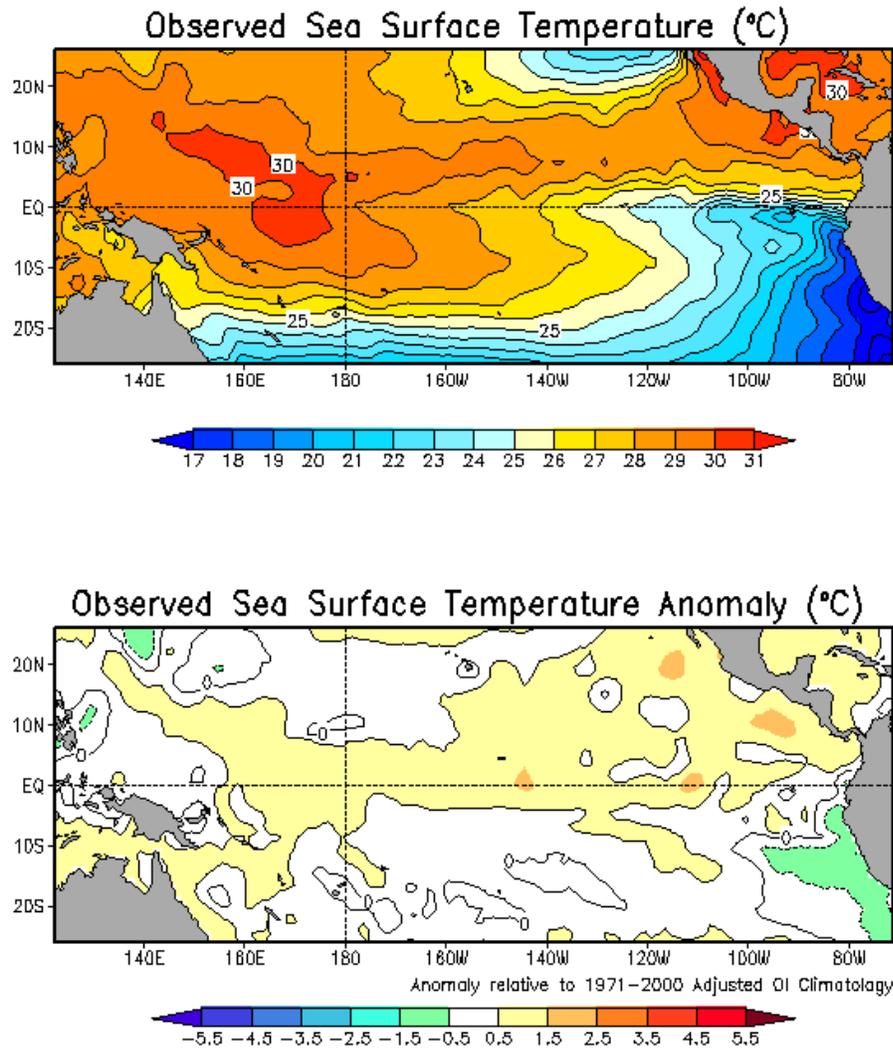
### 5.2.2 Indicadores disponibles para ENSO.

Dos índices comúnmente utilizados para cuantificar las relaciones entre los fenómenos de El Niño y La Niña con las variables hidroclimatológicas son el Índice de Oscilación del Sur, IOS y Temperatura superficial del mar, TSM.

El IOS es un valor que se obtiene de la diferencia de la presión atmosférica a nivel del mar entre la isla de Tahití y Darwin (Australia). La isla de Tahití se utiliza como punto representativo del comportamiento de la presión atmosférica en la parte oriental-central del Océano Pacífico Tropical, mientras que Darwin se utiliza como el punto representativo de la presión atmosférica de la parte occidental del mismo océano.

Cuando se presenta un fenómeno El Niño el IOS muestra valores negativos, mientras que para el indicador TSM se observan valores positivos. Cuando ocurre un evento El Niño, la presión atmosférica disminuye cerca de Tahití y aumenta al norte de Australia. Por ello, cuando se presenta el fenómeno El Niño el IOS muestra valores negativos, produciéndose el fenómeno a la inversa para La Niña.

El Índice TSM se define como la anomalía mensual respecto a la temperatura superficial media del mar, o como la diferencia respecto a la media mensual de un período lo suficientemente largo para una región determinada del océano. El TSM es el reflejo de lo que acontece en amplios sectores del océano Pacífico Ecuatorial, por lo que para su caracterización se requiere de un conjunto de series temporales.



**7-day Average Centered on 23 September 2009**



NCEP/EMC/Global Climate & Weather Modeling Branch

Olv2

Figura 19: Mapa de SST (sup) y anomalías del SST (inf).

En la actualidad existen registros históricos de ambos índices disponibles a través de la página web <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/> del Climate Prediction Center del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Además se pueden encontrar mapas del SST en <http://www.osdpd.noaa.gov/ml/ocean/sst/anomaly.html>, como el que se muestra en la Figura 19 y también los pronósticos de 3 meses que prepara la Dirección Meteorológica de Chile.

### 5.3 Evaluación del cambio climático

Aunque no se sabe con certeza de que manera el cambio climático afectará los recursos hídricos regionales disponibles, es evidente que los recursos de agua en la zona norte y central de Chile ya son escasos en la actualidad. Debido a esto, cualquier factor adicional que empeore las condiciones actuales, como el pronosticado cambio climático, intensificará la competencia por los recursos hídricos.

El Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska postula que con un clima más cálido, las sequías y las inundaciones podrían ser más frecuentes, graves y más duraderas, por lo que eventos extremos más frecuentes podrían terminar siendo motivo de mayor preocupación que el cambio a largo plazo en la temperatura y las precipitaciones medias<sup>25</sup>. El aumento potencial de estos riesgos ha generado una gran preocupación a nivel mundial dado el hincapié que se coloca sobre los recursos hídricos y los altos costos económicos en que se incurre para mitigar los efectos de eventos como las sequías o inundaciones.

En Chile, la CONAMA (2006) realizó un estudio sobre la variabilidad climática en Chile con el objetivo de estimar escenarios climáticos para diferentes regiones de Chile durante el periodo 2071-2100, asociados a un cambio climático global resultante de un incremento sostenido de los gases de efecto invernadero<sup>26</sup>. Como resultado de este estudio se pudo observar a grandes rasgos un aumento de las temperaturas medias de todas las regiones.

El impacto hidrológico esperado según este estudio, muestra cambios significativos en la temperatura y precipitación, sobre todo bajo los escenarios más severos evaluados. Del cambio de temperatura se espera una consecuente reducción del área andina capaz de almacenar nieve durante el año. Es decir, se espera que la isoterma de 0°C sufra un alza de altura por el proceso de calentamiento, las crecidas invernales de los ríos con cabecera andina se verán incrementadas por el consiguiente aumento de las cuencas aportantes y la reserva nival de agua se verá disminuida.

Por otra parte, en cuanto a la pluviometría, exceptuando regiones altiplánicas en verano y el extremo sur en invierno, el estudio predice disminuciones, especialmente en la estación invernal de todo el territorio nacional comprendido entre 30 y 40°S.

En un contexto similar, Bitrán y Rivera, en su documento “Planned Adaptation to Climate Change: Result from the Chilean Case”, plantean que el cambio climático modificará la disponibilidad de agua, la frecuencia y severidad de las precipitaciones, la interacción entre el mar y los acuíferos, el comportamiento de los acuíferos y su interacción con las corrientes de aguas superficiales, etc. Por lo tanto, se plantea que diversos sectores económicos se verán muy afectados debido a la escasez del recurso para riego, abastecimiento de agua, generación de energía, etc.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup>IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001, Drought and Climate Change. Report of the National Drought Mitigation Center. 2001.

<sup>26</sup>CONAMA. 2006. Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (DGF), Universidad de Chile.

<sup>27</sup> Bitrán E. Rivera P. 2008. Planned Adaptation to Climate Change: Result from the Chilean Case.

---

#### **5.4 Efectos de los fenómenos ENSO y Cambio Climático**

De acuerdo a los intereses de este estudio las consideraciones sobre estos fenómenos son particulares para cada uno de ellos.

Por una parte la importancia de ENSO está ligada a la ocurrencia de La Niña, la cual tendría consecuencias sobre situaciones de escasez y afectaría la aparición y duración de sequías en la zona norte y central de Chile. Si bien para la identificación de sequías no tendría efectos sobre los valores o indicadores, ya que sus consecuencias estarían reflejadas en la base de datos disponibles y por lo tanto desde el punto de vista estadístico este sería un fenómeno ya considerado, si es posible que en una situación de seguimiento anticipado de los fenómenos y en una actitud de previsión, los indicadores de ENSO puedan ser una aporte para mejorar los pronósticos de sequías en esta zona, así como mitigar sus efecto en el mediano y corto plazo una vez que los fenómenos están declarados. Estos indicadores servirían entonces como un razonable apoyo a medidas de seguimiento, prevención y mitigación de sequías.

El fenómeno del cambio climático si puede afectar el riesgo de ocurrencia de condiciones de escasez, de manera que influye sobre la estacionalidad de los indicadores de recursos hídricos disponibles y de sequías en particular. Esto puede implicar la futura redefinición con mayor frecuencia, o incluso anualmente, de la base de datos estadística sobre la cual se calculen los indicadores en las diferentes zonas de Chile. También puede plantear una revisión de la resolución DGA que califica épocas de sequía extraordinaria cada cierto número de años, por ejemplo cada 10 años, período en el cual se tendría información sobre la ocurrencia de sequías que permitan contrastar y evaluar el comportamiento de los indicadores considerados en la resolución. No existen antecedentes para proponer un periodo de vigencia o de revisión de este tipo de resoluciones. Sin embargo, puede decirse que de acuerdo a los cambios tecnológicos, fundamentalmente en tecnologías de información ocurridos en las décadas pasadas, la mayoría de los países han revisado en los últimos 10 años sus métodos o la legislación sobre sequías.

## 6 ANALISIS DE INFORMACION Y DEFINICIÓN DE INDICADORES

En este capítulo se hace un análisis de la información hidrometeorológica disponible para desarrollar indicadores cuantitativos de condiciones de sequías en Chile, los aspectos de interés a considerar para identificar sequías extraordinarias y los posibles indicadores a utilizar de acuerdo a estos antecedentes.

### 6.1 Variables que pueden caracterizar sequías en Chile

Debido a la gran variabilidad climática de Chile y a los diferentes usos del agua en cada una de las regiones del país, las variables a emplear para definir las sequías, así como los criterios e indicadores para calificarlas, requieren especial atención. Para una nueva resolución es importante considerar criterios que tengan una aplicación amplia y permitan considerar de manera equilibrada las diferentes condiciones.

Las condiciones de sequía están dadas por la oferta de recursos disponibles y las demandas que de ellos hacen las diferentes actividades tanto productivas y de consumo como ambientales. Éstas condicionan los indicadores y criterios de manera que cada uno de ellos puede presentar ventajas o inconvenientes dependiendo de la zona en la cual se apliquen. Por otra parte, desde un punto de vista de la gestión de los recursos a nivel nacional debe existir una mínima uniformidad de criterios y en lo posible también de indicadores, de manera de colocar en un plano de igualdad a los diferentes usuarios sin discriminaciones por ubicación o usos.

De acuerdo a antecedentes de la Dirección General de Aguas<sup>28,29</sup> los usos consuntivos de agua en Chile por regiones son los que se indican en la Tabla 14. Los usos no consuntivos, incluyendo las necesidades de caudales ecológicos, de dilución y fundamentalmente los hidroeléctricos son los que se muestran en la Tabla 15. Entre los usos consuntivos el principal es el agropecuario, seguido por el acuícola por su importancia en las regiones XI y XII. Los usos para agua potable, minería e industrial son similares. Los usos no consuntivos son fundamentalmente para generación de energía, pero han aparecido como significativos los necesarios para satisfacer el caudal ecológico.

---

<sup>28</sup> DGA MOP, 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ing. Consultores. SIT 122.

<sup>29</sup> DGA MOP, 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ing. Consultores. SIT 123

Tabla 14: Usos consuntivos de Agua por Región

Región	Caudal por Uso Consuntivos [m3/s]							Total
	Agropecuario	Agua Potable	Industria	Minería	Forestal	Acuícola	Turismo	
I	8,926	1,258	1,680	3,665	0,000	0,000	0,013	15,542
II	3,308	1,010	1,294	15,259	0,000	0,000	0,004	20,875
III	12,033	0,711	0,518	1,604	0,001	0,000	0,001	14,868
IV	27,194	1,526	0,251	1,770	0,031	0,000	0,006	30,778
V	42,438	4,595	4,806	1,679	0,064	0,000	0,013	53,595
RM	82,361	18,510	10,421	0,481	0,096	0,000	0,002	111,871
VI	97,964	2,012	1,232	9,396	1,320	0,000	0,001	111,925
VII	166,489	2,211	3,771	0,000	0,703	0,000	0,000	173,174
VIII	69,436	4,420	49,541	1,209	1,338	2,800	0,001	128,745
IX	11,512	1,325	0,257	0,000	0,265	1,300	0,001	14,660
X	3,308	1,976	4,089	1,500	0,083	71,000	0,004	81,960
XI	0,644	0,194	0,082	25,979	0,000	321,000	0,001	347,900
XII	1,119	0,386	5,905	0,234	0,000	82,000	0,005	89,649
Total	526,732	40,134	83,847	62,776	3,901	478,100	0,052	1195,542

Tabla 15.- Usos no consuntivos de agua por región.

Región	Caudal por Uso no Consuntivo[m3/s]			Total
	Energía	Receptores de Contaminantes	Caudal Ecológico	
I	0,211	0,000	0,420	0,631
II	1,493	0,292	0,420	2,205
III	0,255	0,392	0,820	1,467
IV	1,250	0,602	3,440	5,292
V	87,999	4,453	17,560	110,012
RM	129,040	15,417	50,400	194,857
VI	653,753	1,226	10,060	665,039
VII	1342,412	1,117	56,640	1400,169
VIII	1409,242	4,212	471,990	1885,444
IX	0,000	0,825	83,140	83,965
X	353,550	1,039	206,430	561,019
XI	18,008	0,393	189,410	207,811
XII	0,033	0,263	6,490	6,786
Total	3997,246	30,231	1097,220	5124,697

En las regiones del extremo norte (XIV, I, II y III), hay una evidente falta de recursos en la zona costera, por lo que las actividades se abastecen fundamentalmente de los recursos de cuencas altiplánicas y subterráneos. Las actividades agrícolas son menores pero significativas y existe cada vez más un uso ambiental vinculado a salares y lagunas.

En la zona central, entre la IV y la IX Regiones, se incrementan significativamente los usos agrícolas, el abastecimiento de ciudades y hacia el sur son importantes los usos hidroeléctricos. Si bien al sur de la IX Región los usos consuntivos del agua disminuyen y los recursos en promedio aumentan significativamente, es necesario consignar que se han presentado en años recientes condiciones de sequía en Chiloé, Aysén y Magallanes. Por otra parte en estas regiones los usos de caudal ecológico son importantes.

En estos mismos estudios se efectúa una estimación de demandas y usos del agua en todo el territorio nacional a 10 y 25 años plazo, en los cuales se puede apreciar la importancia creciente en el futuro de usos ecológicos y acuícolas.

En un estudio realizado por la DGA y la Universidad Católica<sup>30</sup> sobre el impacto económico de las sequías en esta zona, se muestra un análisis de las actividades que utilizan el agua separándolas en 48 zonas comprendidas desde el norte de la región de Atacama hasta el sur de la región del Bío Bío. La Tabla 16 muestra una cuantificación de la superficie regada, la población y otros usos en cada una de estas zonas.

De acuerdo a los usos del agua en las diferentes zonas del país y la disponibilidad de recursos para satisfacerlos es posible plantear una zonificación gruesa para el estudio y análisis de sequías que consideren los siguientes aspectos:

- Es importante tratar de mantener un enfoque general uniforme a la mayor parte del territorio de manera de facilitar las comparaciones y lograr un tratamiento equilibrado de condiciones que no perjudique ni beneficien a unas zonas respecto a otras. De esta forma aceptando las diferencias de usos y recursos se trata de identificar aquellas que realmente imponen condiciones difíciles de superar.
- En este sentido una de las zonas que requieren un tratamiento especial es el desierto de Atacama, que ocupa la zona costera del norte del país bajo los 2000 msnm, desde el extremo norte hasta el río Copiapó. En esta zona no hay recursos propios y los usos se abastecen desde cuencas con cabeceras en la vertiente occidental del altiplano. Para este sector no tiene sentido hacer un estudio ni calificación de sequías meteorológicas. Si es posible desarrollar indicadores hidrológicos por cuencas que dispongan de datos sobre recursos que son utilizados en el sector. Estas son las típicas cuencas arreicas del Norte Grande.
- Otra zona que queda marginada de posibles estudios detallados es el sector de islas y canales al sur de la isla de Chiloé hasta cabo Hornos. En las Regiones XI y XII solo se dispone de información sobre recurso y sus usos en la parte continental. Para toda la zona insular sería posible estimar comportamiento de precipitaciones

---

<sup>30</sup> DGA MOP, P. U. Católica de Chile, Análisis del Impacto económico originado por sequías hidrológicas. S.I.T. 37. Santiago, dic. 1997.

en base a una extrapolación de la información medida en escasos puntos continentales, pero dados los escasos usos no tendría interés para la gestión de recursos hídricos.

- En el resto del país se considera de interés, además de posible, realizar un análisis de sequías meteorológicas, en base al comportamiento de precipitaciones, ya que ellas son un buen indicador precoz de otros tipos de sequías y pueden extrapolarse espacialmente para estimar indicadores asociados a divisiones político administrativas como regiones, provincias y comunas.

Desde el punto de vista hidrológico puede resultar complicado desarrollar indicadores para una serie de cuencas costeras en las cuales no se cuenta con información ni medidas de caudales. En la zona norte y central estas cuencas son de flujo esporádico y tiene pocos usos, pero en la zona sur pueden ser relevantes. En estas cuencas se puede privilegiar el uso de indicadores basados en precipitaciones, las que se pueden interpolar en base a información cercana y además son un buen indicador para este tipo de cuencas con recursos preferentemente pluviales.

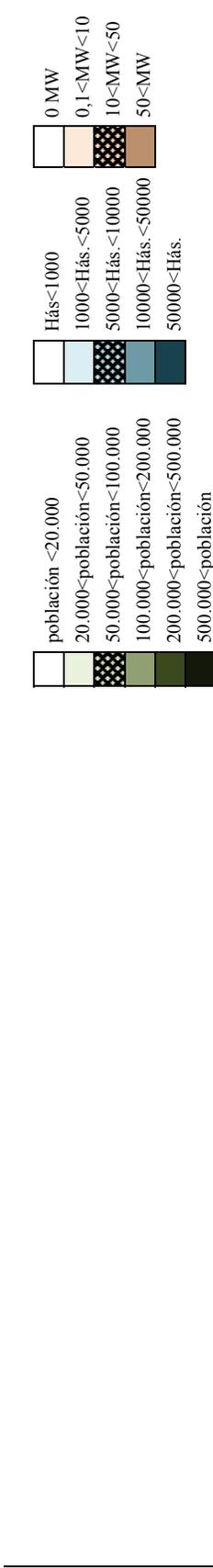
Tabla 16: Actividades con Consumo Hídrico en 48 Zonas de Chile Central. Fuente: DGA MOP, P. U. Católica de Chile, Análisis del Impacto económico originado por sequeías hidrológicas. S.I.T. 37. Santiago, dic. 1997.

N°	Nombre	Región	Área (km <sup>2</sup> )	Ubicación			Recurso	Usos							
				Costa	Centro	Cordillera		Importancia	Población			Sup. Riego		Hidroelectricidad	
									Urb	Rural	Total	Hás.	Importancia		
1	Endorreicas de Atacama	III	14710				De los Salares Maricunga, Pedernales		0	600	600		0		0
2	Costeras de Chañaral	II y III	20432				Qda. Pan de azúcar y el Salado		49680	1966	51646		0		6
3	Paipote	III	6843				Qda. De Paipote		0	907	907		0		0
4	Copiapó Cordillera	III	7269				R. Jorquera, Pulido y Manflas		0	3600	3600		1272		0
5	Copiapó Valle	III	4688				R. Copiapó		110164	4905	115069		6820		0
6	Costeras Boquerón y Totoral	III	10485				Qda. De Algarrobal		0	4858	4858		0		0
7	Huasco Cordillera	III y IV	7150				R. Tránsito y R. el carmen		0	5750	5750		2183		0
8	Huasco Costa	III	2707				R. Huasco		51991	1781	53772		6728		0
9	De los Choros y otras	III y IV	8994				Qda. De los Choros y Chañaral		0	14793	14793		0		0
10	Elqui Alto	IV	5748				Ríos Claro y Turbio		7716	10244	17960		2354		0
11	Elqui Bajo	IV	4237				Río Elqui		189152	11429	200581		15551		0
12	Tongoy	IV	2085				Est. Culebrón y Qda. Pachingo		53440	12173	65613		172		0
13	Hurtado	IV	2230				R. Hurtado		0	5090	5090		2831		0
14	Grande	IV	7461				R. Grande		18378	30509	48887		16467		16
15	Ovalle	IV	2232				R. Limarí		54308	17906	72214		22916		0
16	Costa del Choapa Norte	IV	1648				Est. El Teniente		0	13466	13466		0		0
17	Choapa	IV	4379				R. Choapa		9454	13672	23126		12134		0
18	Illapel	IV	3708				R. Illapel		20230	15939	36169		5598		0
19	Los Vilos	IV	2069				R. Quilimarí y Est. Conchali		10322	5535	15857		1505		0
20	Petorca	V	2317				R. Petorca		6219	12016	18235		5208		0
21	La Ligua	V	2140				R. La Ligua		32687	11643	44330		7441		0
22	San Felipe Los Andes	V	5713				R. Aconcagua		142385	51583	193968		39238		63
23	Quillota	V	2068				R. Aconcagua		184173	38624	222797		21413		0

Continuación Tabla 16

N°	Nombre	Región	Área (km <sup>2</sup> )	Ubicación			Recurso	Usos				Hidroelectricidad MW.		
				Costa	Centro	Cordillera		Importancia	Población				Sup. Riesgo Hás.	Importancia
									Urb	Rural	Total			
24	Valparaíso	V	2404				Est. Viña del Mar y Casablanca	864436	15357	879793		0		4
25	Santiago	R.M.	4087				R. Mapocho	4359150	42623	4401773		28368		3
26	Maipo	R.M. y VI	6766				R. Maipo	525719	68944	594663		64508		238
27	Talagante	R.M Y V	4460				R. Maipo	160311	68485	228796		20572		10
28	Cachapoal	VI	2643				R. Cachapoal	10991	5701	16692		55944		135
29	Rancagua	VI	3838				R. Cachapoal	324559	93315	417874		76623		0
30	Tinguiririca	VI y VII	1911				R. Tinguiririca	21597	52057	73654		71161		0
31	Santa cruz	VI	1927				R. Tinguiririca	30651	35530	66181		8409		0
32	Rapel	R.M VI y V	2210				R. Rapel	2920	22580	25500		3211		350
33	Costeras de Pichilemu	VI y VII	3342				Est. Nihue y Paredones	10763	32529	43292		300		0
34	Teno y Lontué	VII	4337				R. Teno y R. Lontué	116138	54734	170872		89251		0
35	Mataquito	VII	2309				R. Mataquito	12202	32453	44655		14972		0
36	Maule Norte	VII	3114				R. Claro	185000	40000	225000		164938		0
37	Maule Alto	VII	5725				R. Maule	1000	27000	28000		0		1164
38	Maule Sur	VII	4182				R. Loncomilla	93000	67000	160000		107938		0
39	Perquillauquén	VII y VIII	5900				R. Perquillauquén	64000	59000	123000		67662		0
40	Constitución	VII	4216				R. Maule	39300	38700	78000		18867		0
41	Ñuble	VIII	5667				R. Ñuble	184711	75039	259750		56207		0
42	Itata	VIII	4323				R. Itata	35480	55134	90614		21422		0
43	Costa de Ñuble	VIII	3929				R. Itata	98827	57432	156259		200		0
44	Laja	VIII	4521				R. Laja	28704	38559	67263		37542		836
45	Alto Bio Bio	VIII y IX	6988				R. Bio Bio	30151	14962	45113		404		0
46	Bio Bio Medio	VIII	4960				R. Bio Bio	146242	53625	199867		59802		0
47	Bio Bio Sur	VIII y IX	7189				R. Bio Bio	675954	71703	747657		8450		0
48	Arauco	VIII y IX	6031				R. Carampangue y Lebu, Paicavi	230570	58062	288632		0		0

# 870294



---

## 6.2 Información disponible para caracterizar estados de sequía

El análisis de la información y datos hidrometeorológicos de la DGA es fundamental para desarrollar indicadores o índices de condición de sequía, o adaptar algunos de los ya existentes. El uso de información disponible que pueda ser monitoreado constantemente permitiría seguir en tiempo real el desarrollo de sequías en todas las zonas de interés del territorio, tanto para anticiparse y caracterizar situaciones extraordinarias como para seguir su evolución temporal.

Se entiende que la resolución debe responder a una identificación de sequías meteorológicas e hidrológicas extraordinarias en todo el territorio nacional basado en indicadores objetivos y cuantificables. En relación a las sequías hidrológicas, es decir, las condiciones de escasez en los recursos de agua disponibles en los cauces y ríos, se debe desarrollar indicadores basados en datos de caudales, en lo posible en condiciones naturales. Desafortunadamente existen registros confiables de caudales sólo en algunas cuencas, por lo que suelen representar condiciones locales. Adicionalmente, en muchos casos están alterados por efectos antrópicos sobre todo en condiciones de escasez, debido a extracciones y usos aguas arriba de la sección de medición.

De acuerdo al desarrollo típico del ciclo hidrológico los recursos hídricos provienen inicialmente de la precipitación sobre las cuencas, las cuales almacenan y concentran el agua que cae sobre ellas, generan caudales en los cauces y al mismo tiempo recargan las aguas subterráneas. Si bien estas dos últimas fuentes hídricas-aguas superficiales y subterráneas- son las más aprovechadas, el régimen de precipitaciones puede anticipar el comportamiento de ellas. De este modo una sequía meteorológica, o escasez de precipitaciones, se transmite a través del ciclo hidrológico generando posteriormente una sequía hidrológica y de agua subterránea. Fernández<sup>31</sup> indica que en 26 cuencas andinas de la zona central de Chile las sequías hidrológicas son más largas pero menos intensas que las sequías meteorológicas que las generan, y que ambas están muy relacionadas en cada cuenca.

Como un ejemplo del uso de indicadores para caracterizar sequías meteorológicas se puede mencionar el estudio de Fernández<sup>32</sup> que considera todo el territorio nacional al sur del trópico de Capricornio y abarca también todo el cono sur de América, en el cual se ha estudiado la evolución de sequías en base al Índice de Precipitación Estandarizada, basado en registros de precipitación de estaciones en Chile, Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y el sur de Brasil. En este caso se disponía de los datos de precipitación mensual en cada estación con una estadística de al menos 30 años. En cada una de ellas se calcula el IPE para cada mes y este se interpola espacialmente con métodos de Kriging para obtener los mapas en toda la región. También se calculan valores del índice con otros periodos de tiempo, en particular anuales. El estudio demuestra que este indicador es posible calcularlo e interpolarlo espacialmente para cubrir razonablemente un territorio tan extenso como el estudiado, dando

---

<sup>31</sup> Fernández, B. 1991. Sequías en la zona central de Chile, Depto. de Ing. Hidráulica y Ambiental. Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>32</sup> Fernández, H. 2001. Sequías en el cono sur de América. Efectos de ENSO. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias de la ingeniería.. Pontificia Universidad Católica de Chile.

cuenta del comportamiento de sequías meteorológicas, como se ilustra en la Figura 20.

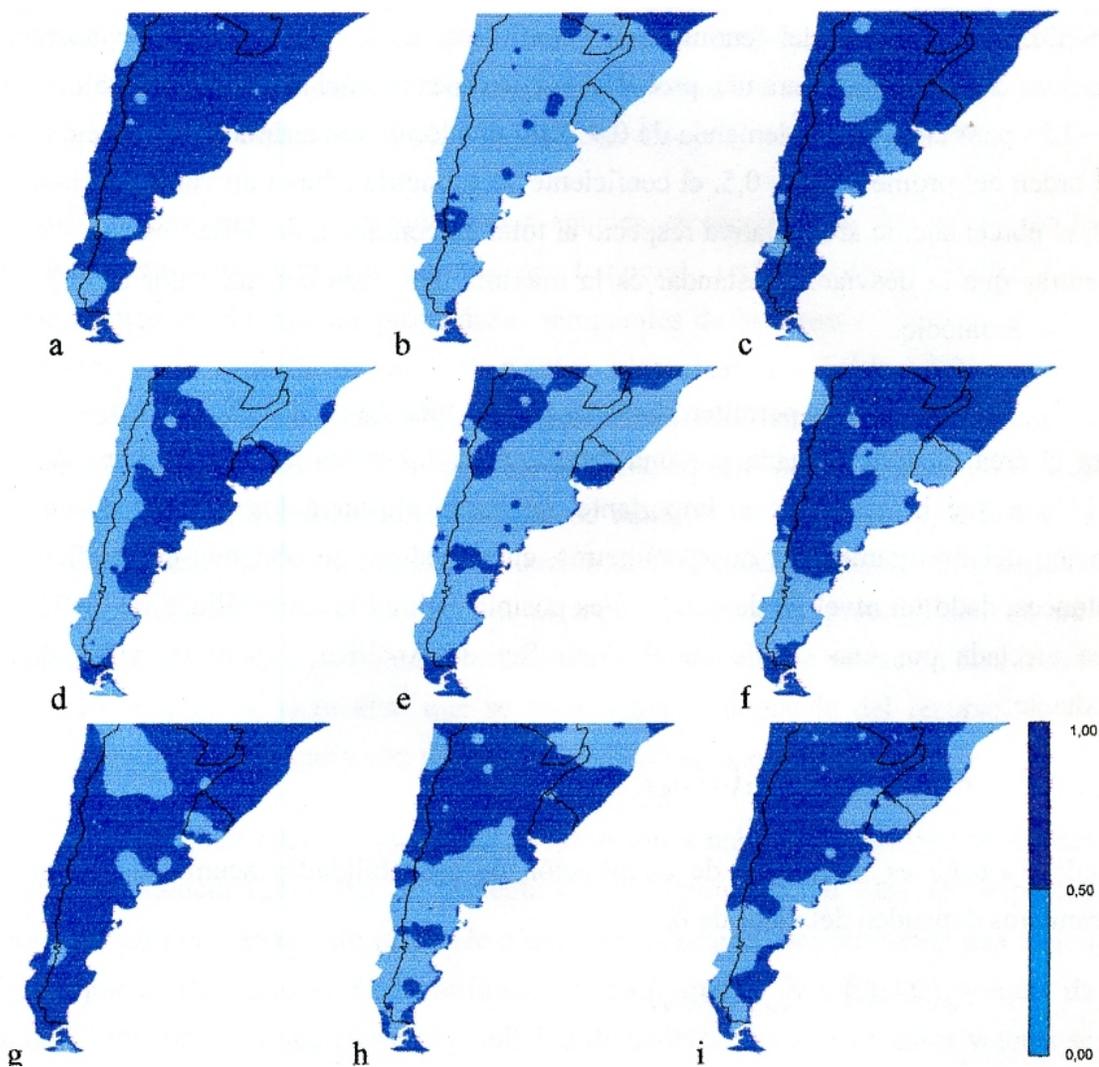


Figura 20: Condiciones de sequías para valor del SPI de 0,50 en el cono sur de América durante los años 1962 a 1970 según Fernández y Fernández.

Desde el punto de vista de identificación de sequías hidrológicas es de interés el estudio de Fernández<sup>33</sup> en el cual se analiza el comportamiento de 28 cuencas en la zona central, entre Elqui y Pilmaiquén que se indican en la Figura 21, considerando cuencas andinas en régimen natural. En esta zona estas cuencas abarcan de manera continua los aportes de la cordillera de Los Andes en su entrada al valle central o los recursos disponibles para los principales usos.



Figura 21: Cuencas andinas consideradas en el estudio de sequías hidrológicas en Chile central según Fernández, 1991

<sup>33</sup> Id cita 29.

En este caso no es necesaria una interpolación espacial y se supone que la estadística de cada sección es representativa del comportamiento de la cuenca que la alimenta. En este sentido, si bien, se identifican las sequías vinculadas al área cubierta por cada una de las cuencas, se intuye que, en general, los caudales de estas pueden afectar a los usuarios de aguas abajo, que evidentemente se encuentran fuera de la cuenca que genera los recursos. Desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos de la zona central de Chile estas cuencas son las principales proveedoras de los grandes usos del agua superficial en esta zona, como es el riego y la hidroelectricidad.

Otro estudio que se considera de interés comentar para visualizar las posibilidades de construir indicadores de sequías en Chile es el realizado por la DGA y PUC<sup>34</sup> sobre el impacto económico de sequías hidrológicas. En él se analizó el comportamiento de la oferta y demanda de agua superficial entre la III y la IX regiones del país considerando 54 zonas o subcuencas, como se ilustra en la Figura 22. En cada una de estas zonas se estimó la demanda de agua para diferentes usos considerando los consuntivos, riego, agua potable e industrial, así como no consuntivos, principalmente hidroeléctricos. En general estas zonas coinciden con cuencas hidrográficas correspondientes a cuencas andinas, del valle central o intermedias y costeras.

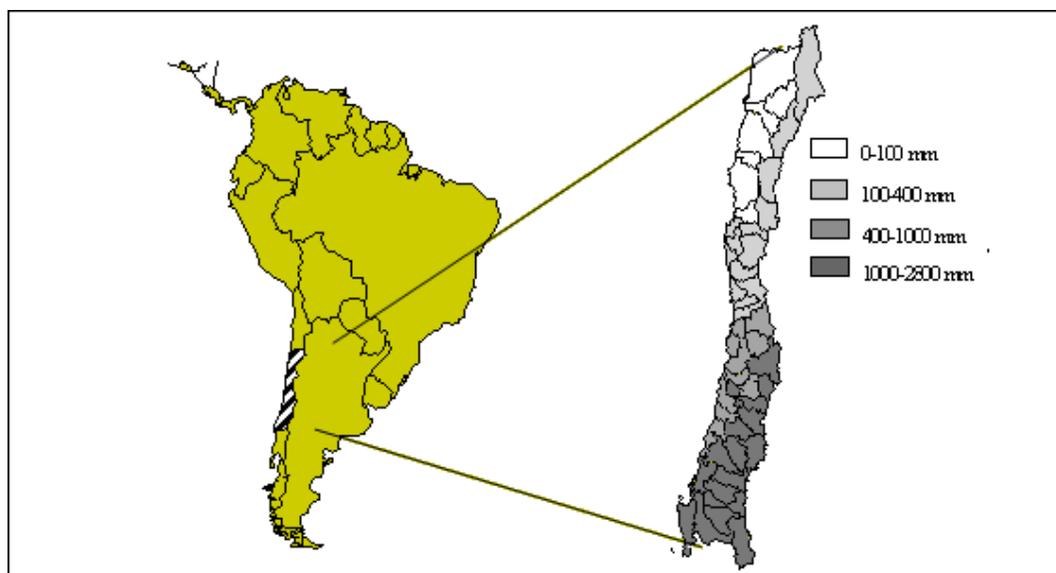


Figura 22: Cuencas Andinas consideradas en el estudio de sequías hidrológicas en Chile central según Fernández, 1991

<sup>34</sup> DGA y PUC, 2001. Impacto económico de sequías hidrológicas en Chile. Dirección General de Aguas, MOP. Santiago, Chile.

### 6.2.1 Datos de precipitaciones en la DGA.

La DGA posee y administra una vasta red de estaciones meteorológicas y pluviométricas en el territorio nacional, con una densidad variable de acuerdo al interés e importancia para la gestión de los recursos hídricos. Desde el punto de vista de su uso para construir indicadores de sequías, interesan los datos mensuales en estaciones vigentes, que continuarán siendo operadas en el futuro, y además que tengan a lo menos 30 años de registro con el objeto de efectuar los análisis estadísticos necesarios. En la Tabla 17 se muestra la cantidad de estaciones pluviométricas de la DGA disponibles en diferentes condiciones en cada una de las regiones del país.

Tabla 17: Estaciones pluviométricas de la DGA disponibles en Chile en diferentes condiciones.  
Fecha de emisión de los datos: Junio 2008

Estaciones Pluviométricas					
N° Región	Nombre Región	Número de estaciones			
		total	vigente	30 años Vigentes	satelitales
15	Arica y Parinacota	41	25	18	5
1	Tarapacá	30	21	9	2
2	Antofagasta	52	36	22	8
3	Atacama	36	27	12	2
4	Coquimbo	92	56	41	4
5	Valparaíso	63	53	27	7
13	Metropolitana	64	42	12	6
6	Bdo O'Higgins	33	24	9	8
7	Maule	66	56	25	10
8	Bío Bío	62	52	23	7
9	Araucanía	60	50	16	5
14	Los Ríos	29	23	5	2
10	Los lagos	22	18	1	0
11	Aysén	39	34	5	8
12	Magallanes	55	46	2	16

Algunas de las estaciones han sido recientemente conectadas satelitalmente para informar mediante internet los valores que registran. Si bien estas permiten disponer de la información de manera prácticamente instantánea, lo que facilitaría cualquier estimación de índices regionales, no se ve como indispensable ya que desde el punto de vista de las sequías un seguimiento mensual es muy adecuado. Se estima que además de la información de estaciones satelitales para el resto que se seleccione sería posible conseguir esa información al menos una vez al mes. De todas maneras estas estaciones satelitales son muy útiles en casos de emergencia.

Puede considerarse como utilizables para el cálculo de indicadores de sequías las estaciones

vigentes con una cantidad de años razonable para estimar estadígrafos robustos de la muestra disponible. La información disponible permite conocer las estaciones con al menos 30 años de registro, pero se estima que si fuera necesario se podría recurrir a otras con menos años, incluso 20, las que podrían irse completando en el futuro con el sistema funcionando.

En general, si se piensa en la posibilidad de estimar indicadores con cobertura regional que puedan ser interpolados espacialmente a partir de los datos puntuales de las estaciones disponibles se observa la siguiente situación regional:

- La información disponible en las regiones I, II, XV y XII es muy limitada y puede condicionar la estimación espacial en algunos sectores de estas regiones.
- La información en las regiones III, XI y XIV es escasa pero permitiría una estimación espacial razonable en todas ellas.
- EN las regiones IV a X y XIII la información tiene buena densidad y sería posible construir indicadores regionales con una buena calidad y cobertura espacial.

A nivel de provincias la situación de estaciones pluviométricas es la que se indica en la Tabla 18.

Tabla 18: Estaciones Pluviométricas DGA por Provincia.

Fecha de emisión de los datos: junio 2008

Estaciones Pluviométricas						
N° Región	Nombre Región	Nombre Provincia	Número de estaciones			
			total	vigente	30 años Vigentes	satelitales
15	Arica y Parinacota	Arica	13	6	4	1
15	Arica y Parinacota	Parinacota	28	19	14	4
1	Tarapacá	Iquique	1	1	0	0
1	Tarapacá	Tamarugal	29	20	9	2
2	Antofagasta	Antofagasta	9	5	3	0
2	Antofagasta	El Loa	39	29	18	8
2	Antofagasta	Tocopilla	4	2	1	0
3	Atacama	Chañaral	1	1	0	0
3	Atacama	Copiapó	14	10	7	0
3	Atacama	Huasco	21	16	5	2
4	Coquimbo	Elqui	25	15	9	0
4	Coquimbo	Limarí	39	22	19	2
4	Coquimbo	Choapa	28	19	13	2
5	Valparaíso	Los Andes	9	5	3	2
5	Valparaíso	Petorca	29	23	11	2
5	Valparaíso	Quillota	8	8	5	1
5	Valparaíso	San Antonio	3	3	2	0
5	Valparaíso	San Felipe de Aconcagua	7	7	3	2
5	Valparaíso	Valparaíso	7	7	3	0

Continuación tabla 18

N° Región	Nombre Región	Nombre Provincia	Número de estaciones			
			total	vigente	30 años	satelitales
13	Metropolitana	Chacabuco	9	8	3	0
13	Metropolitana	Cordillera	21	9	5	1
13	Metropolitana	Maipo	2	2	0	0
13	Metropolitana	Melipilla	10	9	1	0
13	Metropolitana	Santiago	18	12	3	5
13	Metropolitana	Talagante	4	2	0	0
6	Bdo O'Higgins	Cachapoal	19	12	4	5
6	Bdo O'Higgins	Cardenal Caro	3	3	1	0
6	Bdo O'Higgins	Colchagua	11	9	4	3
7	Maule	Cauquenes	5	5	2	0
7	Maule	Curicó	18	15	5	2
7	Maule	Linares	25	20	12	4
7	Maule	Talca	18	16	6	4
8	Bío Bío	Arauco	5	5	1	0
8	Bío Bío	Bío Bío	22	19	8	5
8	Bío Bío	Concepción	7	5	0	1
8	Bío Bío	Nuble	28	23	14	1
9	Araucanía	Cautín	39	33	11	3
9	Araucanía	Malleco	21	17	5	2
14	Los Ríos	Ranco	5	4	2	0
14	Los Ríos	Valdivia	14	12	3	1
14	Los Ríos	Llanquihue	1	1	0	0
14	Los Ríos	Osorno	9	6	0	1
10	Los lagos	Llanquihue	8	6	1	0
10	Los lagos	Osorno	1	0	0	0
10	Los lagos	Chiloé	6	6	0	0
10	Los lagos	Palena	7	6	0	0
11	Aysén	Aisén	10	10	3	0
11	Aysén	Coihaique	11	10	1	1
11	Aysén	General Carrera	7	5	1	1
11	Aysén	Capitán Prat	11	9	0	6
12	Magallanes	Magallanes	22	19	1	5
12	Magallanes	Tierra del Fuego	13	12	1	3
12	Magallanes	Ultima Esperanza	18	13	0	6
12	Magallanes	Antártica Chilena	2	2	0	2

Como se puede apreciar existen 13 provincias en las cuales no se cuenta con ninguna estación pluviométrica para caracterizar las sequías meteorológicas. Curiosamente varias de éstas corresponden a provincias centrales, incluyendo Maipo y Concepción, probablemente debido a su tamaño reducido, pero se estima que la red disponible permitiría caracterizar prácticamente todas las provincias del país, debiendo recurrir en algunas de ellas a datos de provincias cercanas. La Tabla 19 muestra la cantidad de estaciones pluviométricas por provincia considerando las distintas opciones.

Tabla 19: Cantidad de Estaciones Pluviométricas DGA de distintas propiedades por Provincia.  
Fecha de emisión de los datos: junio 2008

Número de provincias con estaciones pluviométricas de propiedades indicadas				
Rango	Total	Vigente	Vigente y 30 años	Satelitales
Más de 10	27	21	8	0
Entre 5 y 10	14	16	5	3
Entre 1 y 5	11	15	28	29
Ninguna	0	0	11	20

Del total de 52 provincias del país 11 no tendrían una estación pluviométrica en su interior. En el resto sería posible estimar razonablemente un indicador de situaciones de sequía en base a los datos de al menos una estación y en varias provincias es posible construir este indicador con varias estaciones. Posiblemente si se relaja la exigencia de que las estaciones utilizables tengan por lo menos 30 años de datos prácticamente todas las provincias contarían con una estación al menos.

La Figura 23 muestra las estaciones pluviométricas entre las regiones III a XI que fueron utilizadas en la gestión de las condiciones de sequías en el año 2008 por la DGA. El número y ubicación de estas estaciones da cuenta de una razonable cobertura en esta zona de estaciones disponibles para este tipo de análisis. Para las regiones I, II, XV y XII, la situación es más precaria. Pero las regiones del norte tienen muy pocos recursos disponibles y el tema de las sequías debe tratarse en ellas como una situación muy especial, en las cuales posiblemente no sea factible aplicar criterios generales como en el resto del país.

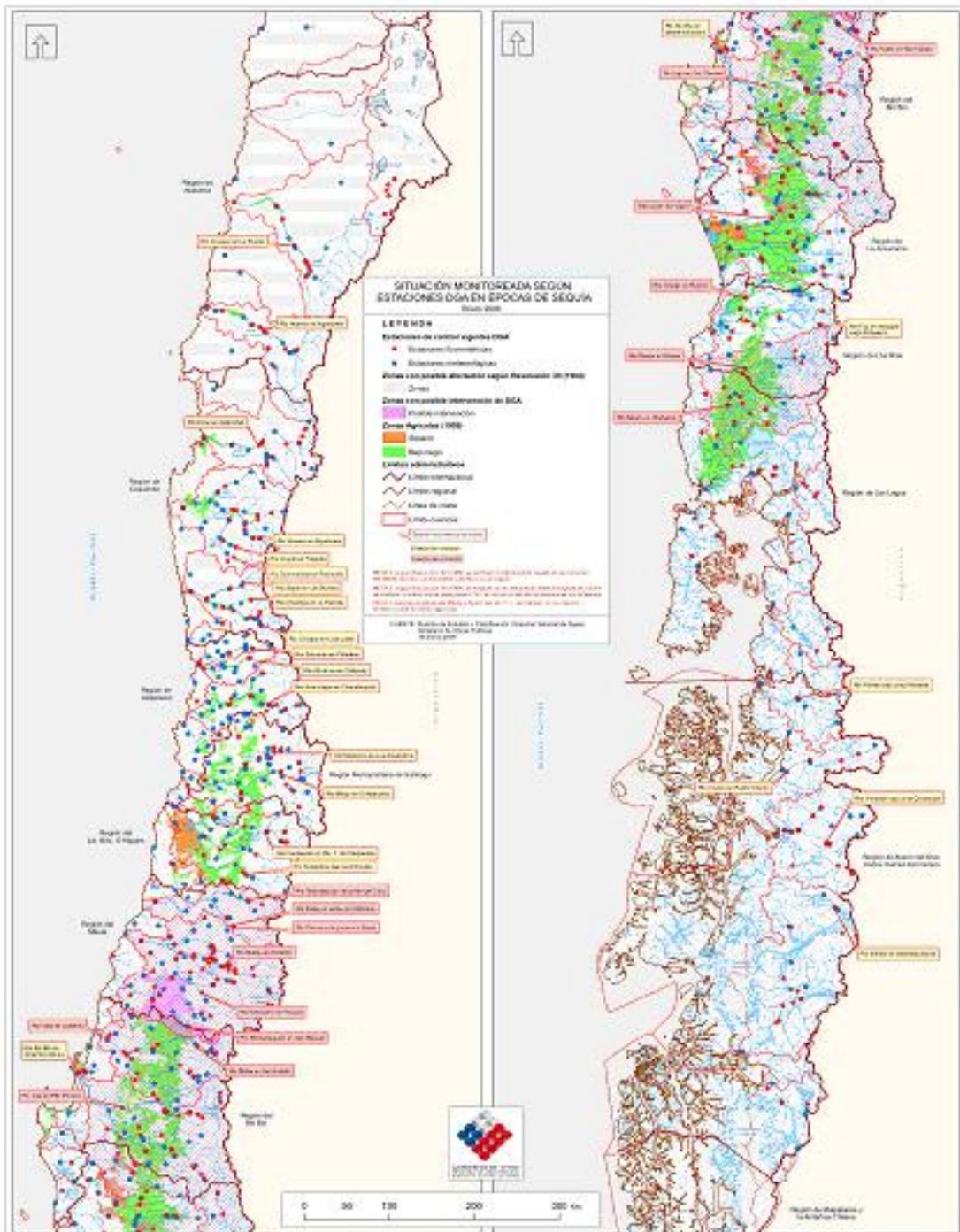


Figura 23: Estaciones Pluviométricas, en azul, y fluvimétricas, en rojo, entre las III y la XI regiones.  
Fuente: Dirección General de Aguas- MOP, enero de 2009.

### 6.2.2 Datos de caudales en la DGA.

Los caudales son los recursos de agua directamente aprovechables para diferentes usos y a los cuales se refiere el Código de Aguas para definir la intervención de cauces. Sin embargo, los datos de una estación representan exclusivamente la cuenca que controla, con sus propias condiciones hidrológicas, geomorfológicas, de almacenamiento, usos previos, etc., de manera que resulta complejo regionalizar esta información incluso a cuencas vecinas. Adicionalmente, para poder representar de manera objetiva las condiciones de sequías, es necesario considerar las condiciones naturales, ya sea porque se trata de cuencas no intervenidas, o porque se puede restituir la información considerando las extracciones y aportes de origen artificial aguas arriba de la estación. En este sentido el uso de registros de caudales tiene desventajas evidentes en comparación con la utilización de información pluviométrica para el análisis de condiciones naturales y el cálculo de indicadores de sequías hidrológicas aplicables a una región extensa.

La DGA también posee y administra una vasta red de estaciones fluviométricas en el territorio nacional, para cuencas de todo tipo y tamaño, ubicadas principalmente en aquellas en que el uso de los recursos ha sido más activo. Desde el punto de vista de su uso para construir indicadores de sequías interesan los datos mensuales en estaciones vigentes y que continuarán operando en el futuro, y además que tengan a lo menos 30 años de registro con el objeto de efectuar los análisis estadísticos necesarios. En la Tabla 20 se muestra la cantidad de estaciones de la DGA disponibles en diferentes condiciones en cada una de las regiones del país de acuerdo a la información y condiciones del año junio de 2008, ya que estas estaciones están sujetas a modificaciones de ubicación, tipo y longitud de registro permanentemente. En la Figura 23 se indica la ubicación de las estaciones fluviométricas entre la región III y la XI.

Tabla 20: Estaciones Fluviométricas de la DGA disponibles en Chile en diferentes condiciones.  
Fecha de emisión de los datos: junio 2008.

Estaciones Fluviométricas					
Nº Región	Nombre Región	Número de estaciones			
		total	vigente	30 años Vig	satelitales
15	Arica y Parinacota	38	22	14	5
1	Tarapacá	26	16	8	2
2	Antofagasta	68	49	18	21
3	Atacama	42	28	19	3
4	Coquimbo	99	48	40	5
5	Valparaíso	66	20	13	6
13	Metropolitana	56	20	11	4
6	Bdo. O'Higgins	33	18	7	14
7	Maule	92	56	24	32

Continuación Tabla 20

N° Región	Nombre Región	Número de estaciones			
		total	vigente	30 años Vig	satelitales
8	Bío Bío	114	52	20	22
9	Araucanía	56	36	17	5
14	Los Ríos	25	15	9	2
10	Los lagos	45	33	8	3
11	Aysén	44	35	16	10
12	Magallanes	48	42	7	17

La disponibilidad de estaciones a nivel de cuencas se indica en la Tabla 21. Es necesario indicar que la existencia de una estación fluviométrica en una determinada región o provincia no es indicación de que la cuenca pertenezca enteramente a dicha provincia, ya que generalmente los límites administrativos no coinciden necesariamente con las divisorias de aguas. En este caso existen 57 cuencas al interior de las cuales no hay estaciones fluviométricas con registros de al menos 30 años. Hay que considerar que es más difícil extrapolar los indicadores de sequías hidrológicas entre cuencas, aunque sean vecinas, al contrario de lo que ocurre con las sequías meteorológicas para las cuales la extrapolación espacial es inmediata.

Tabla 21: Estaciones Fluviométricas por Cuenca. Fecha de emisión de los datos: junio 2008.

Estaciones Fluviométricas					
N° Cuenca	Nombre cuenca	Número de estaciones			
		total	Vigente	satelital	30 años
010	Altiplánicas	20	18	0	9
011	Quebrada de la Concordia	0	0	0	0
012	Rio Lluta	12	5	2	5
013	Rio San José	6	4	2	2
014	Costeras R. San Jose-Q.Camarones	6	1	0	0
015	Q. Rio Camarones	3	2	1	1
016	Costeras R.Camarones-Pampa del Tamarugal	3	2	1	1
017	Pampa del Tamarugal	12	4	1	2
018	Costeras Tilviche-Loa	0	0	0	0
020	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	0	0	0	0
021	Rio Loa	54	41	21	18
022	Costeras R.Loa-Q.Caracoles	0	0	0	0
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0

Continuación Tabla 21

N° Cuenca	Nombre cuenca	Número de estaciones			
		total	Vigente	satelital	30 años
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	16	10	0	2
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	0	0	0	0
027	Quebrada Caracoles	0	0	0	0
028	Quebrada la Negra	0	0	0	0
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	0	0	0	0
030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacifico	7	7	0	4
031	Costeras Q. Pan de Azúcar -R. Salado	0	0	0	0
032	Rio Salado	0	0	0	0
033	Costeras e Islas R. Salado-R. Copiapó	0	0	0	0
034	R. Copiapó	17	10	2	8
035	Costeras R. Copiapó Carrizal	0	0	0	0
036	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal	0	0	0	0
037	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco	0	0	0	0
038	Rio Huasco	16	11	1	7
039	Costeras e Islas entre R. Huasco y Cuarta Región	2	0	0	0
040	Costeras e Islas 3ra Región -Q.los Choros	0	0	0	0
041	Rio los Choros	1	0	0	0
042	Costera R. los Choros R. Elqui	0	0	0	0
043	Rio Elqui	23	15	1	10
044	Costeras entre Elqui y Limarí	1	1	0	1
045	Rio Limarí	48	19	1	18
046	Costeras entre R. Limarí y R. Choapa	0	0	0	0
047	Rio Choapa	22	12	3	10
048	Costeras entre R. Choapa y R. Quilimarí	1	1	0	1
049	Rio Quilimarí	3	0	0	0
050	Costeras Quilimarí - Petorca	0	0	0	0
051	Rio Petorca	7	4	1	2
052	Rio Ligua	6	2	1	0
053	Costeras Ligua - Aconcagua	1	1	0	1
054	Rio Aconcagua	48	11	4	9
055	Costeras entre Aconcagua y Maipo	2	0	0	0
057	Rio Maipo	58	21	4	11
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0

Continuación Tabla 21

N° Cuenca	Nombre cuenca	Número de estaciones			
		total	Vigente	satelital	30 años
060	Río Rapel	31	17	13	7
061	Costeras Rapel-E.Nilahue	1	1	0	1
070	Costeras Limite Septima R. Río Mataquito	0	0	0	0
071	Río Mataquito	16	8	5	5
072	Costeras Mataquito-Maule	1	0	0	0
073	Río Maule	77	49	28	20
074	Costeras Maule y Limite Region	1	1	0	0
080	Límite Octava y R. Itata	0	0	0	0
081	Río Itata	41	18	4	8
082	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Bio-Bio	3	2	0	0
083	Río Bio-Bio	66	36	19	13
084	Costeras e Islas entre Ríos Bio-Bio y Carampangue	1	0	0	0
085	Río Carampangue	1	0	0	0
086	Costeras Carampangue - Lebu	0	0	0	0
087	Río Lebu	1	0	0	0
088	Costeras Lebu-Paicavi	9	1	0	1
089	Costeras e Islas entre R.Paicavi y Limite Region	1	1	0	0
090	Costeras Límite Región- R. Imperial	0	0	0	0
091	Río Imperial	26	17	3	7
092	Río Budi	0	0	0	0
093	Costeras entre R. Budi y R. Tolten	0	0	0	0
094	Río Tolten	18	11	1	7
095	Río Queule	1	1	0	0
100	Costeras Límite región - R. Valdivia	0	0	0	0
101	Río Valdivia	18	10	2	5
102	Costeras R. Valdivia - R. Bueno	0	0	0	0
103	Río Bueno	19	15	1	8
104	Cuencas e Islas entre R.Bueno y R. Puelo	16	12	0	1
105	Río Puelo	6	4	1	2
106	Costeras entre R.Puelo y R.Yelcho	0	0	0	0
107	Río Yelcho	4	3	1	0
108	Costeras R YELCHO- Límite Regional	0	0	0	0
109	Islas Chiloe y Circundantes	2	2	0	1
110	Río Palena y Costeras Limite Decima Region	6	3	0	0

Continuación tabla 21

N° Cuenca	Nombre cuenca	Número de estaciones			
		total	Vigente	satelital	30 años
111	Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aisen	7	6	0	2
112	Archipiélagos de las Guaitecas y de los Chonos	0	0	0	0
113	Río Aisen	19	13	1	8
114	Costeras e Islas entre R Aisen y R Baker y Canal Gral. Martinez	1	1	0	0
115	Río Baker	13	11	6	6
116	Costeras e Islas R. Baker y R. Pascua	0	0	0	0
117	Río Pascua	3	3	3	2
118	Costeras R Pascua Límite Region A Guayeco	0	0	0	0
120	Costeras Límite región - R. Andrew	0	0	0	0
121	Islas entre limite Region y Canal Ancho y Estrecho de la Concepcion	1	1	1	0
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	18	13	6	1
123	Islas C. Concepción, C. Sarmiento, e de Magallanes	0	0	0	0
124	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca	4	4	0	0
125	Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jeronimo y Magallanes	7	6	4	2
126	Vertiente del Atlantico	3	3	2	2
127	Islas al Sur Estrecho de Magallanes	0	0	0	0
128	Tierra del Fuego	14	14	3	2
129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antartico	1	1	1	0

La Tabla 22 muestra la cantidad de estaciones fluviométricas por cuenca considerando las distintas opciones.

Tabla 22: Cantidad de Estaciones fluviométricas DGA de distintas propiedades por cuenca.  
Fecha de emisión de los datos: junio 2008

Número de cuencas con estaciones fluviométricas de propiedad indicada				
Rango	total	vigente	30 años Vig	satelitales
Más de 10	26	20	5	4
Entre 5 y 10	10	7	13	2
Entre 1 y 5	26	27	24	29
Ninguna	37	45	57	64

Del total de 99 cuencas del país 37 no tendrían una estación fluviométrica en su interior. En el resto sería posible estimar razonablemente un indicador de situaciones de sequía en base a los datos de al menos una estación y en varias provincias es posible construir este indicador con varias estaciones. Del total de 37 de las cuencas que no disponen de información 25 corresponden a cuencas costeras o de las islas del sur.

---

### **6.3 Condiciones generales para los indicadores a utilizar para determinar la ocurrencia de sequías**

Para proponer indicadores se debe considerar las variables hidrometeorológicas que determinan y caracterizan la disponibilidad del recurso hídrico en las distintas zonas del país, así como también los fenómenos climáticos que las afectan, incluyendo los fenómenos del Niño y la Niña y el denominado cambio climático. Además debe considerarse que, en base a la información disponible y necesaria para construir los indicadores y los criterios a aplicar, se deberán definir las regiones o zonas del país para una resolución espacial. Además se deberán definir umbrales, o límites de los indicadores, que permitan clasificar las condiciones de sequías en diferentes categorías, en especial las que permitan clasificar una sequía como extraordinaria, y mantener o dar por superada esta situación en el tiempo. Estos valores pueden ser diferentes para las distintas regiones o zonas del país.

Los indicadores propiamente tales deberían ser algunos de los utilizados en distintas partes del mundo, de los cuales se tiene experiencia y se conoce su comportamiento. En este sentido se encuentran recomendables el Índice de Precipitación Estandarizada, IPE, ya que se ajusta muy bien a una zona extensa con distintas condiciones climáticas como ocurre en Chile, pudiendo mantener las condiciones de riesgo comparables. Este indicador es superior al índice “porcentaje del promedio”, el cual no logra hacer comparables distintas situaciones climáticas, y a los percentiles, que tiene dificultades para ser usados en zonas áridas y semiáridas. Este indicador es posible aplicarlo también a caudales con el mismo procedimiento estadístico de normalización y estandarización.

Para condiciones prácticas se propone utilizar dos distintos tipos de indicadores, uno general para sequías meteorológicas y otro específico para sequías hidrológicas.

En primer lugar parece de interés disponer de un indicador general de situaciones de escasez que sea posible de estimar en todo el territorio. Éste podría ser calculado y regionalizado fácilmente con técnicas de interpolación espacial, y construido sobre la base de información de precipitaciones para diferentes escalas temporales. Éste sería un típico IPE que permitiría el seguimiento de las condiciones de sequías en todo el territorio nacional, las que serían informadas a los usuarios. Además serviría de alerta para la declaración de condiciones extraordinarias con criterios objetivos. Este indicador puede ser calculado sobre cualquier extensión territorial a diferentes escalas espaciales, desde la regional y la provincial hasta la comunal, e incluso sobre áreas arbitrarias o sobre las cuencas de interés. Así entonces, este indicador, estimado e informado a diferentes escalas de tiempo (anual, semestral, trimestral y mensual) sería la base sobre la cual se apoya la gestión de condiciones de escasez en todo el territorio nacional. Sin embargo, este indicador no permitiría la declaración de sequías extraordinarias en todo tipo de cuencas ya que no considera los caudales ni aguas subterráneas. Posiblemente en zonas de escurrimiento pluvial, en cuencas pequeñas con poca capacidad natural de almacenamiento, y principalmente en zonas de secano, este indicador

podría ser considerado como una información auxiliar para la declaración de situaciones de sequías extraordinarias.

En la literatura aparecen como criterio para designar sequías extraordinarias de origen meteorológico un umbral del IPE que asigna un periodo de retorno del orden de 44 años a este tipo de sequías. Sin embargo para las condiciones nacionales se estima que este es un umbral demasiado alto, ya que las típicas sequías extraordinarias más bien se darían para periodo de retorno del orden de 10 años, de manera que el umbral del IPE se encuentra en un valor cercano a -1,28 que en otras partes se califica como sequía moderada. La sequía con periodo de retorno de 44 años en Chile sería una sequía catastrófica más que extraordinaria.

Un indicador más específico y que responda a lo solicitado en el Código de Aguas, debería considerar las sequías hidrológicas. Para ello se propone desarrollar un indicador similar al IPE pero aplicado a los caudales mensuales de cuencas específicas, las que deberían identificarse previamente, fundamentalmente en base a la disponibilidad e información y los usos del agua. De acuerdo a la base de datos de estaciones con que cuenta la DGA se estima que este indicador podría cubrir la mayor parte de las cuencas del país, con excepción de las costeras y de islas del extremo sur. Probablemente en algunas de ellas habrá que comenzar a estimar valores con series de duración menor a 30 años, pero en el mediano plazo deberían alcanzarse longitudes de registros razonables para disponer de indicadores robustos.

La incorporación de los problemas de sequías vinculados al agua subterránea resulta más compleja de abordar y de regionalizar. Esto es debido a que los acuíferos y la información objetiva sobre su comportamiento está restringida, son menores y más específicos que las cuencas en las cuales se ubican y se dispone de datos sobre niveles no alterados por el uso en escasas oportunidades. De todas maneras en algunas cuencas del país resultan relevantes como aporte de recursos hídricos y permiten sustentar actividades de gran impacto social, como es el caso de los APR. En general los acuíferos pueden considerarse como embalses y sus recursos subterráneos como volúmenes acumulados, en los cuales los efectos naturales de las sequías afectan a la recarga de ellos y no directamente a los niveles, ya que estos últimos están también controlados por el uso y la explotación por parte de los usuarios. Esto conduce a que cualquier indicador relacionado con los niveles de los acuíferos para identificar condiciones de escasez más bien pueden reflejar sobreexplotación que falta natural de recursos hídricos en el sistema, por lo tanto serían indicadores de sequías entrópicas y no de sequías naturales. Para identificar condiciones de escasez en acuíferos debiera individualizarse sus fuentes de recarga, ya sea de precipitaciones o caudales, y generar un indicador que represente las condiciones de esta recarga durante un periodo extendido anterior, por ejemplo del orden de seis meses o dos años. En este sentido valores de IPE, o de ICE, Índice de Caudal Estandarizado, promedios de seis meses a dos años en las cuencas de los acuíferos o en sus fuentes de recarga pueden permitir identificar y calificar condiciones de sequías en ellos.

Los dos indicadores previamente propuestos permiten caracterizar en forma objetiva y clara la disponibilidad y escasez del recurso hídrico para distintas escalas temporales y zonas del territorio nacional. Estos índices pueden luego ser utilizados en la toma de decisiones por parte de otros entes públicos y privados cuyas actividades estén afectadas por la disponibilidad del recurso (Ministerio de Agricultura, Agricultores, sector energético, etc). Dada la gran variabilidad existente en la demanda de agua, es totalmente necesario que sea entonces cada

uno de estos entes o instituciones quienes, utilizando los índices propuestos que describen las condiciones hidrometeorológicas, definan sus propios criterios, de modo que incorporen de la manera que ellos estimen conveniente todas las variables que caracterizan su actividad socioeconómica en particular. Se estima que es muy complejo desarrollar un único o reducido grupo de indicadores que, para todo el territorio, incorpore las necesidades de demanda de todos los grupos interesados. Es así como la información de temperaturas está más ligada a la demanda por evapotranspiración, o incluso demandas de agua potable, y no a la oferta. Por lo tanto no debieran ser considerados para identificar condiciones de sequía impuestas por el sistema natural.

## **7 RANGOS Y CATEGORÍAS DE SEQUÍAS**

Es necesario proponer indicadores de condiciones de sequías y sus límites para caracterizarlas de acuerdo a las condiciones climáticas y de usos del agua en cada una de ellas. En esta caracterización se intenta considerar toda la extensión geográfica de Chile continental, de manera de seleccionar indicadores, y la información necesaria para ello, que puedan aplicarse uniforme y objetivamente en todo el territorio.

### **7.1 Sectorización por zonas y macro zonas.**

Las zonas y macro zonas con límites precisos e identificables corresponden a aquellas definidas para la gestión administrativa del país y las de carácter geográfico relacionadas con condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos hídricos.

#### **7.1.1 Zonas administrativas y sequías meteorológicas.**

Los procedimientos operacionales y acciones gubernamentales relacionados a la declaración y mitigación de sequías se hacen más simples cuando se considera una división administrativa del territorio nacional. Desde el punto de vista administrativo se estima necesario referirse a condiciones de sequía que puedan afectar a regiones, provincias y comunas. No existen agrupaciones administrativas con extensión superior al de región, o que agrupen a un conjunto de ellas, ni inferior a las comunas. Se podría incluir una cuarta visión general para todo el territorio continental sin referencia a divisiones internas. Actualmente el país está dividido en 15 regiones, 53 provincias y 346 comunas. Los límites de todas ellas pueden representarse convenientemente en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y efectuar estimaciones numéricas de indicadores aplicables a las extensiones definidas al interior de estos límites. La Figura 24 muestra mapas de Chile continental con cada una de las divisiones indicadas. No está demás mencionar, para efectos de estimaciones uniformes al interior de cada una de estas divisiones, que todas ellas son consistentes entre sí. Todo el país está dividido en regiones y cada punto pertenece sólo a una región. Similarmente cada región está dividida en provincias, y cada una de estas pertenece solo a una región. Cada provincia está, a su vez, dividida en comunas y los territorios de cada una de ellas solo pertenecen a una provincia. Una de las desventajas de la organización administrativa es que la extensión de ellas es muy variable, lo que se acentúa a nivel de las provincias y más aún para las comunas. Existen algunas comunas de gran extensión territorial y otras sumamente pequeñas, con unos pocos kilómetros cuadrados pero con mucha población, como es frecuente en la Región Metropolitana. La Figura 25 muestra la división en provincias y comunas de la Región Metropolitana.

Desde el punto de vista de los recursos hídricos, la división administrativa del país es arbitraria y raramente coincide con la división en cuencas hidrológicas. Al mismo tiempo, la distribución espacial de precipitaciones trasciende la división administrativa, por lo que los indicadores basados en precipitación, y en general la ocurrencia de sequías meteorológicas, no dependen de estos límites. En este sentido la sectorización administrativa puede servir para identificar en cada unidad las condiciones de escasez de precipitación, estimada sobre áreas arbitrarias en base a los registros de lluvias en estaciones cercanas.

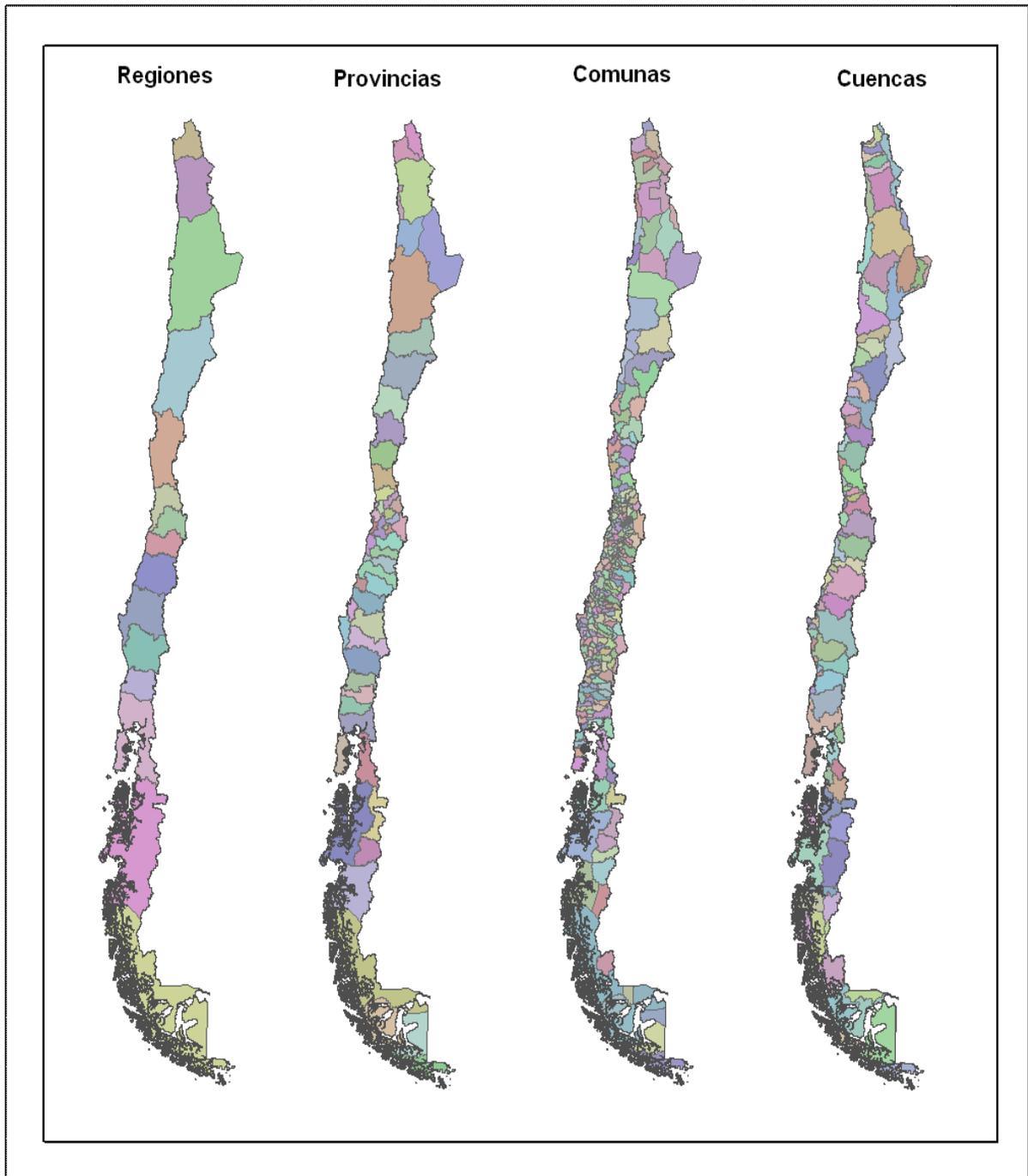


Figura 24: División político administrativa de Chile: regiones, provincias y comunas. Además se agrega la división en cuencas principales de acuerdo a la definición de ellas de la DGA.

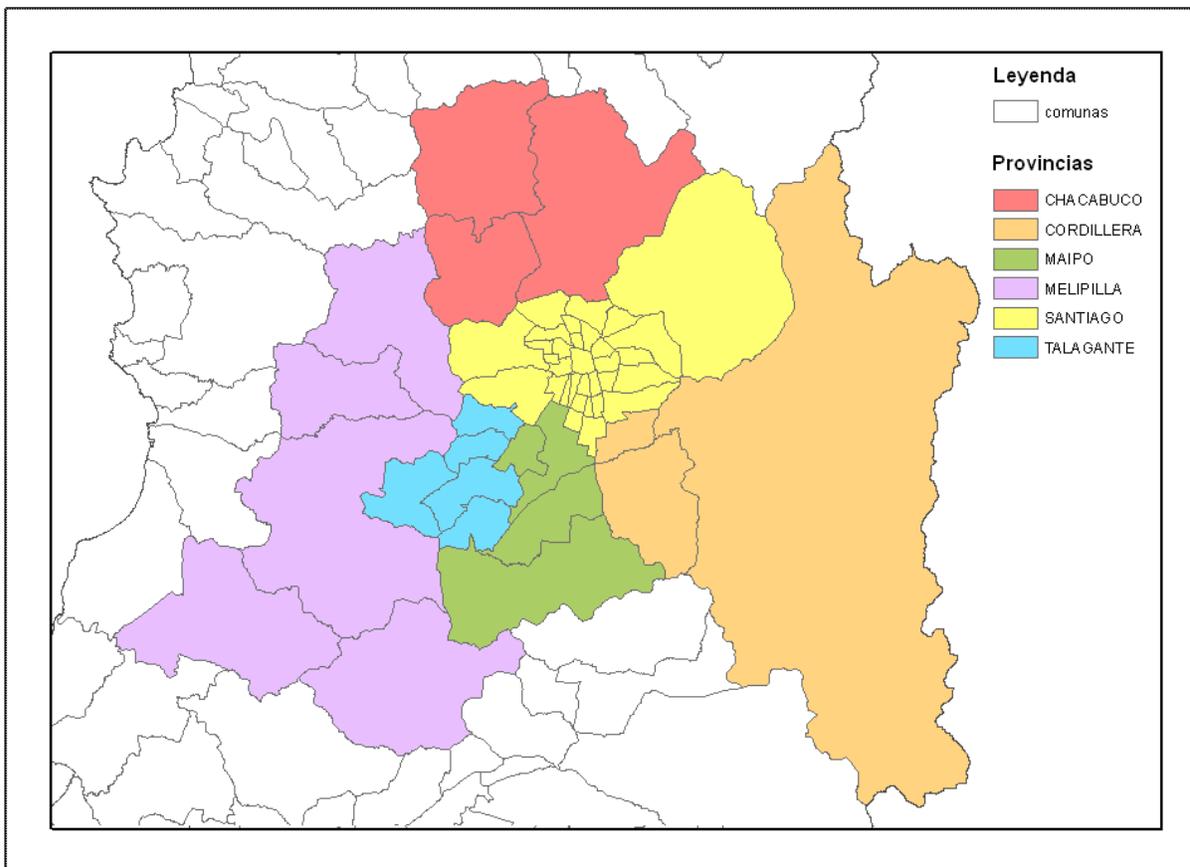


Figura 25: División política administrativa de la Región Metropolitana. Se incluyen las 6 provincias y los límites de las comunas.

Por otra parte las posibilidades reales de utilizar datos de precipitación para identificar sequías meteorológicas en las unidades administrativas dependen de la disponibilidad de datos tanto en el espacio como en el tiempo, o la oportunidad en que se puede contar con la información. La DGA dispone de estaciones pluviométricas de diferente categoría. Desde el punto de vista de su utilidad para un sistema de seguimiento oportuno de sequías y la administración de los recursos hídricos se ha realizado una categorización con la colaboración de ingenieros del departamento de hidrología de la DGA, considerando las siguientes categorías:

- Estaciones con información disponible mensualmente con más de 15 años de registro (tipo 1). Se trata de 36 estaciones con información diaria y que disponen de más de 15 años de registro. Estos datos pueden utilizarse y ponerse al día mensualmente y permiten establecer indicadores estadísticos confiables y representativos de la zona.
- Estaciones con información disponible mensualmente con menos de 15 años de registro (tipo 2). Se trata de 5 estaciones con información diaria, pero que disponen de menos de 15 años de registro. Estos datos pueden utilizarse y ponerse al día mensualmente y es necesario completar la información en los próximos años para poder establecer indicadores confiables. En general debieran ser estaciones útiles que irán mejorando su calidad con el tiempo.

- Estaciones tipo 3. No se dispone de datos diarios en su operación habitual, pero han sido empleadas en oportunidades recientes para identificar condiciones de sequías, pueden activarse en condiciones de escasez y proporcionar información mensual oportuna. En esta categoría hay actualmente 27 estaciones.
- Estaciones tipo 4. Tienen más de 30 años de registro pero su información se obtiene con dificultades en forma oportuna, o con cierto retraso en un proceso regular. En general no pueden emplearse para la gestión de sequías en el momento, pero disponen de una larga y confiable información de más de 30 años. Algunas de estas 177 estaciones podrían seleccionarse para completar coberturas espaciales de sequías, transformándolas en satelitales en un plazo prudente, de acuerdo a los intereses del servicio, y serían muy útiles para la gestión de sequías.

Entonces, en general la DGA cuenta con un total de 245 estaciones pluviométricas vigentes pero solo un porcentaje de ellas pueden emplearse para definir condiciones de sequías oportunamente, y a su vez una fracción menor de ellas podrían ser usadas en un sistema de monitoreo y seguimiento de sequías.

En la Tabla 23 se presentan las zonas administrativas con estaciones de los distintos tipos considerados, organizadas por comunas, provincias y regiones. En la Figura 26 y Figura 27 se muestra un mapa de Chile en el cual se identifica la división administrativa que cuenta con al menos una estación pluviométrica del tipo 1, 2 o 3 en su interior, de manera que sea posible identificar condiciones de sequías en ellas contando con al menos una estación. Es importante destacar que el interés en este caso es contar con información espacial del comportamiento de un índice de condiciones de sequías, basado en los registros de precipitaciones, pero no se está tratando de estimar la precipitación en sí, sino sólo su comportamiento. Un mayor detalle de las estaciones y zonas de Chile se muestra en el Anexo 2.

Tabla 23: Zonas administrativas con estaciones pluviométricas de uso sinóptico. Se indican la cantidad de estaciones de cada tipo disponibles por provincias y comunas. En el caso de comunas sin estaciones estas se agrupan en cada provincia.

Región	Provincia	Comuna	Estaciones		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
XV Arica y Parinacota	Arica	Arica, Camarones			
	Parinacota	General Lagos			1
		Putre	1		1
I Tarapacá	Iquique	Iquique, Alto Hospicio			
	Tamarugal	Camiña, Colchane, Huara, Pozo Almonte, Pica			

Región	Provincia	Comuna	Estaciones		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
II Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta	1		
		Mejillones, Sierra Gorda, Taltal			
	El Loa	San Pedro de Atacama, Ollagüe			
		Calama	2		
Tocopilla	María Elena, Tocopilla				
III Atacama	Copiapó	Copiapó	1		
		Caldera			
		Tierra Amarilla	1		
	Chañaral	Chañaral, Diego de Almagro			
	Huasco	Vallenar	1		
Alto del Carmen, Freirina, Huasco					
IV Coquimbo	Elqui	Vicuña	2		
		La Serena	1		
		Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paiguano			
	Choapa	Salamanca	1		1
		Los Vilos			1
		Canela			
		Illapel	1		
	Limarí	Combarbalá	1		
		Monte Patria, Punitaqui, Río Hurtado			
Ovalle		2			
V Valparaíso	Los Andes	Los Andes	1		
		Calle Larga, Rinconada, San Esteban			
	Petorca	La Ligua			1
		Cabildo, Papudo, Zapallar, Petorca			
	Quillota	Quillota			1
		Limache, Hijuelas, La Cruz, Calera, Nogales, Olmué			
	San Antonio	Algarrobo, Cartagena, El Quisco, El Tabo, San Antonio			
		Santo Domingo			1
	San Felipe de Aconcagua	San Felipe	1		
		Putendo, Llaillay, Panquehue, Santa María, Catemu			
Valparaíso	Quilpué, Casa Blanca, Concón, Juan Fernández, Puchuncaví, Quintero, Villa Alemana, Viña del Mar				

Región	Provincia	Comuna	Estaciones		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
V Valparaíso	Valparaíso	Valparaíso	1		1
	Isla de Pascua	Isla de Pascua			
XIII Metropolitana	Chacabuco	Colina, Lampa, Til til			
	Cordillera	San José de Maipo	1		1
		Puente Alto, Pirque			
	Maipo	San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine			
	Melipilla	Alhué, Curacaví, María Pinto, San Pedro, Melipilla			
	Santiago	Santiago	1		
		Las Condes	1		
		Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, Joaquín, San Miguel, San Ramón, Vitacura, Lo Barnechea			
		Talagante	Talagante, El Monte, Isla de Maipo, Padre Hurtado, Peñaflor		
	VI Del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Rancagua		1
Codegua, Coinco, Coltauco, Doñihue, Graneros, Las cabras, Machalí, Malloa, Mostazal, Olivar, Peumo, Quinta de Tilcoco, Requínoa, Rengo, San Vicente, Pichidegua					
Cardenal Caro		Navidad			1
		Marchihue, Paredones, La Estrella			
		Pichilemu			1
		Litueche			1
Colchagua		Chépica	1		
		San Fernando		1	
		Pumanque			1
		Chimbarongo, Lolol, Nancagua, Palmilla, Paralillo, Placilla, Santa Cruz			
VII Del Maule	Cauquenes	Chanco, Pelluhue, Cauquenes			
	Linares	Linares	1		
		Colbún, Longaví, Retiro, Villa Alegre, Yerbás Buenas, San Javier			
		Parral	2		

Región	Provincia	Comuna	Estaciones			
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	
VII Del Maule	Curicó	Curicó	1			
		Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Vichuquén, Sagrada Familia, Romeral, Teno				
	Talca	Curepto, Pencahue, Río Claro, Constitución, Empedrado, Maule, Pelarco, San Rafael				
		San Clemente	1			
		Talca	1			
VIII Del Bío Bío	Arauco	Lebu, Arauco, Contulmo, Curanilahue, Los Álamos, Tirúa				
		Cañete	1			
	Bío Bío	Antuco, Cabrero, Laja, Nacimiento, Negrete, Quilleco, Santa Bárbara, Yumbel, Alto Bío Bío, Tucapel, Mulchén, San Rosendo				
		Quilaco			1	
		Los Ángeles	1			
	Concepción	Tomé			1	
		San Pedro de la Paz		1		
		Concepción, Coronel. Chiguayante, Florida, Hualqui, Lota, Penco, Santa Juana, Talcahuano, Hualpén				
		Ñuble	San Fabián, Coihueco, Yungay, Pemuco, Quillón, Chillán, Bulnes, Cobquecura, El Carmen, Ninhue, Ñiquén, Portezuelo, Quirihue, Ránquil, San Carlos, San Ignacio, San Nicolás, Trehuaco			
	Chillán Viejo		1			
	Pinto				1	
	Coelemu				1	
	IX De La Araucanía	Cautín	Lautaro, Vilcún, Cunco, Curarrehue, Pucón, Villarrica, Gorbea, Carahue, Freire, Galvarino, Loncoche, Melipeuco, Nueva Imperial, Padre Las Casas, Perquenco, Pitrufuquén, Teodoro Schmidt, Toltén, Cholchol			
			Temuco	1		
			Saavedra			1
Malleco		Curacautín, Collipulli, Lumaco, Ercilla, Lonquimay, Los Sauces, Purén, Renaico, Traiguén, Victoria				
		Angol	1			
X De Los Ríos	Ranco	Futrono, Lago Ranco, La Unión, Río Bueno				
	Valdivia	Valdivia		1		
		Panguipulli, Corral, Los Lagos, Máfil, Mariquina, Paillaco				

Región	Provincia	Comuna	Estaciones		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
XIV De Los Lagos	Llanquihue	Puerto Montt	1		
		Calbuco, Cochamó, Fresia, Frutillar, Los Muermos, Llanquihue, Maullín, Puerto Varas			
	Osorno	Osorno		1	
		Puerto Octay, Purranque, Puyehue, Río Negro, San Juan de la Costa, San Pablo			
	Chiloé	Castro, Ancud, Chonchi, Curaco de Vélez, Dalcahue, Puqueldón, Queilén, Quellón, Quemchi, Quinchao			
Palena	Chaitén, Futaleufú, Hualaihué, Palena				
XI Aysén Del Gral. Carlos Ibáñez Del Campo	Aisén	Cisne			2
		Aisén			1
		Guaitecas			
	Coyhaique	Lago verde			
		Coihaique	1		
	General Carrera	Río Ibáñez			1
		Chile Chico			1
Capitán Prat	Cochrane, O'Higgins, Tortel,				
XII Magallanes y De La Antártica Chilena	Magallanes	Punta Arenas	1		
		Laguna Blanca, Río Verde, San Gregorio			
	Tierra del Fuego	Porvenir, Primavera, Timaukel			
	Ultima Esperanza	Natales, Torres del Paine			
	Antártica Chilena	Cabo de Hornos, Antártica			

En resumen solo 55 comunas tienen estaciones tipo 1, 2 y 3 de las 346 comunas totales del país. En relación a las provincias, hay 18 sin estaciones de estos tipos, de un total de 53 provincias y la región I de Tarapacá no tendría ninguna.

De las 53 provincias del país hay 35 que cuentan con al menos una estación pluviométrica utilizable y 18 que no tienen ninguna. Estas últimas se ubican principalmente en los extremos norte y sur del país. La Figura 26 muestra las provincias con estaciones, la ubicación de estas, y las provincias que no cuentan con estaciones de la DGA utilizables. Parece razonable hacer un esfuerzo para agregar unas pocas estaciones pluviométricas al sistema de monitoreo que permitan disponer de información en todas las provincias, como una herramienta básica de análisis territorial. En la Tabla 24 se presenta una lista de estaciones posibles de agregar priorizadas, entendiendo que en algunas provincias del norte del país no sería necesario disponer de datos de precipitación dada su escasez. En total se requiere de al menos 11 estaciones adicionales a las actualmente consideradas.

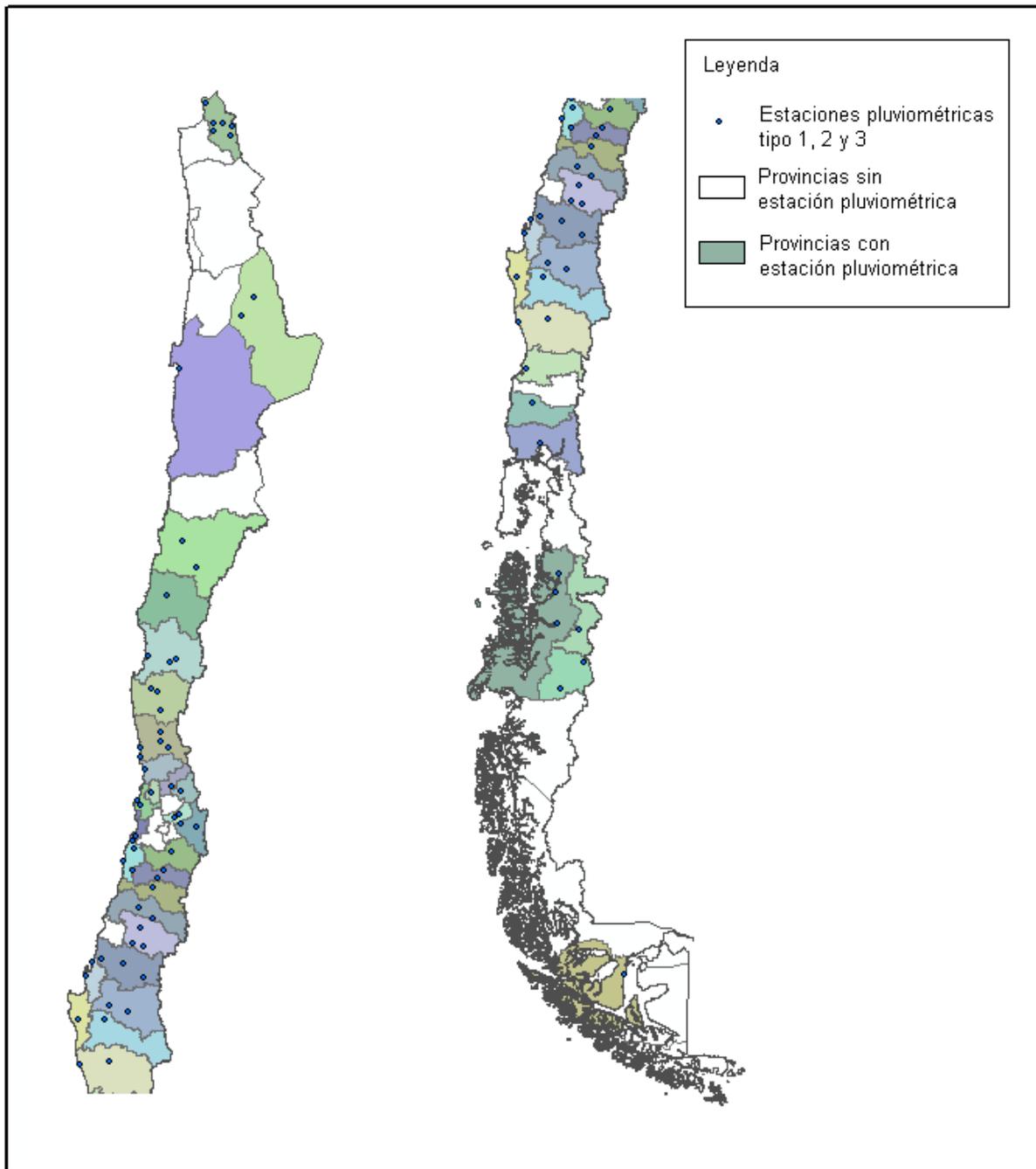


Figura 26: Provincias con estaciones pluviométricas disponibles para monitoreo de sequías

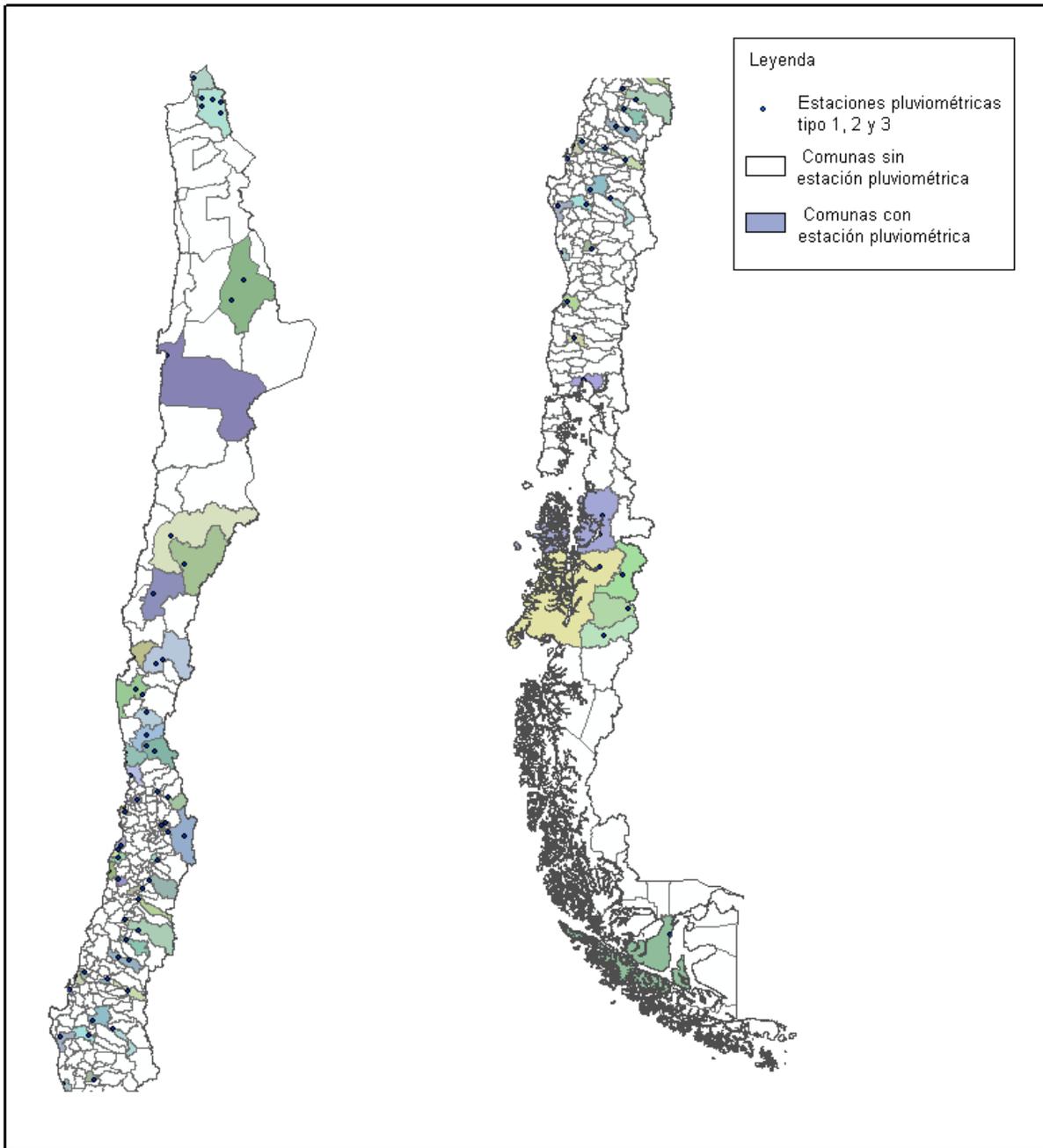


Figura 27: Comunas con estaciones pluviométricas disponibles para monitoreo de sequía.

Tabla 24: Estaciones recomendadas para agregar a la red de monitoreo de sequías

Región	Provincia	Estación Propuesta	Prioridad
Arica y Parinacota	Arica	Arica Oficina	Baja
Tarapacá	Iquique	Iquique *	Baja
	Tamarugal	Camíña, Guatacondo DGA,	Alta
Antofagasta	Antofagasta	Baquedano	Baja
	El Loa	Peine	Alta
Atacama	Chañaral	Las vegas*	Alta
	Huasco	Conay	Alta
Del Maule	Cauquenes	Tutuvén Embalse	Alta
De La Araucanía	Cautín	Villarrica	Alta
De Los Ríos	Ranco	Lago Ranco	Alta
De Los Lagos	Chiloé	Quellón*	Alta
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Capitán Prat	Villa O'Higgins*	Media
Magallanes y De La Antártica Chilena	Ultima Esperanza	Bahía San Felipe, Torres del Paine*	Media

\* Con menos de 30 años de registro.

La situación a nivel de las comunas es más complicada ya que sólo 55 de las 346 comunas cuentan con una estación pluviométrica. La Figura 27 muestra que en la zona central del país hay un gran número de comunas sin estaciones, principalmente debido a su menor tamaño. No parece razonable pensar que en cada comuna debiera haber una estación, más aún, considerando el comportamiento regional espacialmente dependiente de las precipitaciones, lo que hace confiable una interpolación espacial a distancias razonables. Estas distancias son en general mayores que las involucradas en la mayoría de las comunas de la zona central.

### 7.1.2 Cuencas y sequías hidrológicas

Desde el punto de vista geográfico y climático puede considerarse como unidad territorial básica la cuenca según la definición de la DGA. Existen 101 cuencas principales en el país, según se muestra en la Figura 28. Estas cuencas pueden agruparse convenientemente para reflejar condiciones geográficas **por zonas**, considerando por ejemplo las **cuencas costeras**, las **que drenan la cordillera de Los Andes**, o las **que nacen en zonas intermedias**. Esto permite una primera agrupación territorial que considera el origen de los recursos, separando cuencas pluviales, nivales o mixtas. Finalmente una agrupación más agregada puede representar las condiciones climáticas típicas de Chile continental. Esta clasificación de macro zonas se propone hacerla de acuerdo a la división en zonas climáticas definidas en Toledo y Zapater<sup>35</sup> (1989) ajustada a los límites de las cuencas hidrográficas, como se indica en la Tabla 25.

<sup>35</sup> Toledo, X. y Zapater, E. (1989) Geografía general y regional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 443 pp.

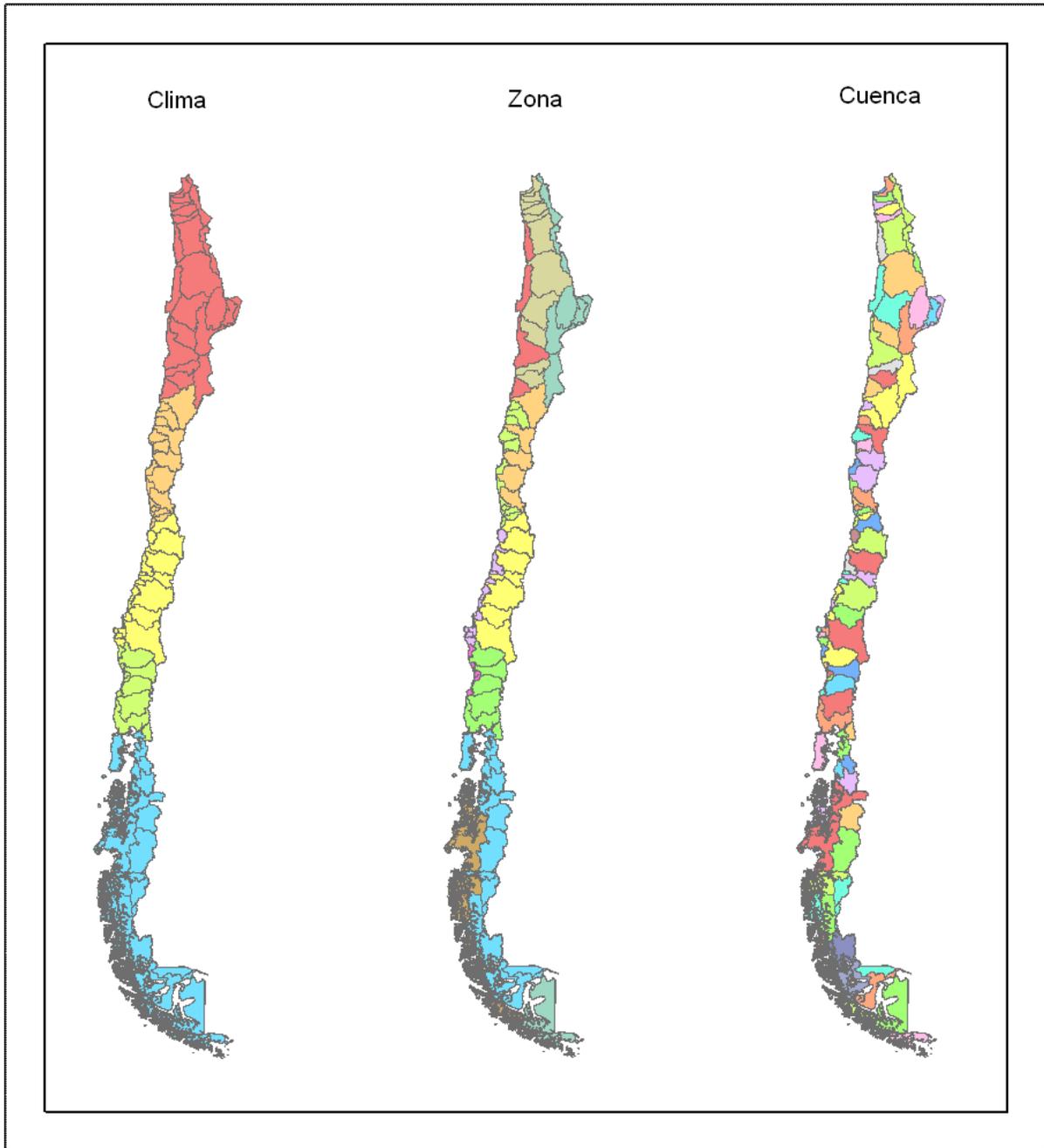


Figura 28: División geográfica-climática de Chile en base a cuencas hidrográficas. Zonas climáticas, agrupación de cuencas como costeras, andinas y altiplánicas y cuencas principales.

Tabla 25: Agrupación de estaciones según la división de los distintos niveles.

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona árida del norte	Costeras Norte	18 Costeras Tiliviche- Loa	180 Entre Quebrada Tiliviche y Pampa Orcoma, 181 Pampas Orcoma y Perdiz, 182 Pampas El Carmen y De La Unión, 183 Salar De Soronel y Pampa Blanca, 184 Pampa De Las Zorras y Salar Grande			
		22 Costeras R. Loa-Q. Caracoles	220 Costeras entre Río Loa y Q. Iquine ,221 Costeras entre Q. Iquine y Q.Tocopilla, 222 Costeras entre Q. Tocopilla y Q. Gatico, 223 Costeras entre Q. Gatico y Q. Chacaya, 224 Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles			
		29 Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	290 Qs. entre Q. La Negra y Q. de Remedios, 291 Quebrada de Remedios y Quebrada de Izcuna, 292 Qs. entre Q. de Izcuna y Q. de Guanillos, 293 Qs. entre Q. de Guanillos y Q.de Taltal, 294 Quebrada de Taltal, 295 Costeras entre Q. Taltal y Q. de la Cachina, 296 Quebrada de La Cachina			
		33 Costeras e Islas R. Salado-R. Copiapó	330 Costeras entre Río Salado y Quebrada Flamenco, 331 Quebrada Flamenco, 332 Costeras entre Q. Flamenco y Q. del Morado, 333 Quebrada del Morado, 334 Costeras entre Quebrada del Morado y Río Copiapó, 335 Islas San Felix, San Ambrosio, Sala y Gómez			
	Altiplánicas	10 Altiplánicas	100 Entre Límite Perú-Bolivia y Río Lauca, 102 Río Lauca, 104 Entre Estero Sencata y Río Sacaya, 105 Salar Del Huasco, 101 Lago Chungará, 103 Salar de Surire, 106 Entre salares Huasco y Coposa, 107 Salar de Coposa, 108 Salar de Michincha			
		20 Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	200 Salar De Ollagüe, 201 Salar De Carcote, 202 Salar De Ascotán			
		23 Fronterizas Salares Atacama - Socompa	230 Cajón, 231 Salar de Tara, 232 Entre Laguna Gucchalajte y Pampa del Lari, 233 Salar de Incaguasi, 234 Salar de Pular			
		24 Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	240 Laguna Parico, Laguna Helada y Salar de Pujsa, 241 Salar de Quisquiro, 242 Salar de Aguas Calientes y Alto del Lari, 243 Laguna Lejia, 244 Lagunas Miscanti y Meniques, 245 Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco, 246 Laguna de Tuyajto, 247 Salar de Talar y Purisunchi, 248 Laguna del Cabo			
		25 Salar de Atacama	250 Salar de Atacama, 251 Río San Pedro, 252 Llano De La Paciencia			

Agrupación				Estaciones Fluviométricas			
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	
Zona árida del norte	Altiplánicas	26 Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	260 Pampa Elvira, 261 Pampa Jardín, 262 Pampa Mariposa (Norte Cerro Mariposa), 263 Pampa Mariposa (Sur Cerro Mariposa), 264 Pampa Colorado, 265 Salar Punta Negra, 266 Pampa de Socompa, 267 Salar de Aguas Calientes y Laguna de La Azufrera, 268 Salar de Pajonales				
		30 Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico	300 Cuencas al N. del Salar de Pedernales, 301 Cuencas al NE. cuenca del Salar de Pedernales, 302 Salar de Pedernales, 303 Cuencas al SE. cuenca Salar de Pedernales, 304 Salar de Maricunga, 305 Laguna del Negro Francisco				
	Intermedias	11 Quebrada de la Concordia	111 Quebrada De La Concordia				
		12 Río Lluta	120 Río Lluta Alto	1			
			121 Río Lluta Bajo	1			
		13 Río San José	130 Azapa Alto		1		
			131 Río San Jose	1			
		14 Costeras R. San Jose-Q. Camarones	140 Costeras entre Río San José y Quebrada Vitor, 141 Quebrada Vitor, 142 Costeras Entre Quebradas Vitor y Camarones				
			15 Q. Río Camarones	150 Río Camarones Antes Junta Quebrada de Chiza		1	
		151 Quebrada de Chiza, 152 Río Camarones Bajo					
		16 Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	160 Costeras entre Río Camarones y Quebrada Camiña				
			161 Quebrada de Camiña		1		
		17 Pampa del Tamarugal	170 Pampa del Tamarugal, 171 Quebrada de Soga, 172 Quebrada de Aroma, 174 Quebrada de Quipisca, 175 Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo, 176 Quebrada de Quisma, 177 Quebrada de Chacarilla, 178 Quebrada de Ramada, 179 Quebradas de Cahuisa y de Chipana				
			173 Quebrada de Tarapaca	1			
		21 Río Loa	210 Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	4	12		
			211 Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)		5		
			212 Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)				

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona árida del norte	Intermedias	27 Quebrada Caracoles	270 Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre, 271 Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen, 272 Quebrada San Cristobal, 273 Quebrada Honda, 274 Quebrada Salar del Muerto, 275 Quebrada Chimborazo, 276 Q. Caracoles entre Salares Navidad y del Carmen (inclusive) y desembocadura			
		28 Quebrada la Negra	280 Quebrada Mateo hasta Quebrada Grande, 281 Quebrada Grande, 282 Q. La Negra (de Mateo) entre Q. Grande y desembocadura			
		31 Costeras Q. Pan de Azúcar-R.Salado	310 Quebrada Pan de Azúcar, 311 Quebradas entre Pan de Azucar y Río Salado			
		32 Río Salado	320 Río Salado Alto (hasta Quebrada Del Chanaral), 321 Quebrada Del Chanaral, 322 Río Salado Bajo			
Zona semiárida	Andinas	34 R. Copiapó	340 Río Jorquera, 341 Río Pulido, 342 Río Manflas, 344 Q. Paipote, 345 R. Copiapó Bajo			
			343 R. Copiapó Medio	2		
		38 Río Huasco	380 Río Transito, 381 Río del Carmen			
			382 Río Huasco	1		
		43 Río Elqui	430 Río turbio, 431 Río Claro, 433 R. Elqui Bajo			
			432 R. Elqui Medio	1		
		45 Río Limarí	451 Río Grande Alto (hasta arriba junta Río Rapel)	1		
			450 Río Hurtado, 452 R. Grande Medio (arriba Junta R. Rapel y R. Guatulame o Muro Emb. Paloma), 454 Río Limari, 455 Río grande Bajo (Entre embalse paloma y Río Hurtado)			
			453 R. Guatulame (Muro Embalse Paloma)			3
		47 Río Choapa	470 Río Choapa Alto (hasta abajo junta Río Cuncumen)	2		
			471 Río Choapa Medio (entre Ríos Cuncumén e Illapel)		1	1
			472 Río Illapel			1
			473 Río Choapa Bajo (entre Río Illapel y Desembocadura)			
		Costeras	35 Costeras R. Copiapó Carrizal	350 Costeras entre Río Copiapó y Quebrada Seca (Inclusive), 351 Quebradas entre Q. Seca y Q. Totoral		

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona semiárida	Costeras	36 Q.Total y Costeras hasta Q.Carrizal	360 Quebrada Total, 361 Costeras entre Quebradas Total y Carrizal			
		37 Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco	370 Quebradas Carrizal y Carrizalillo			
		39 Costeras e Islas entre R.Huasco y Cuarta Región	390 Quebradas entre Río Huasco y Quebrada San Juan, 391 Quebrada San Juan, 392 Quebrada Honda, 393 Quebrada Los Pozos, 394 Q. Chañaral, 395 Isla Chañaral, 396 Quebrada Carrizalillo			
		40 Costeras e Islas 3ra Región -Q.los Choros	400 Qs. entre Q. Carrizalillo y R. Los Choros, 401 Isla Damas, 402 Isla Gaviota, 403 Isla Los Choros			
		41 Río los Choros	410 Q. Los Choros hasta junta Q. del Pelicano, 411 Q. del Pelicano, 412 Q. Los Choros entre Q. del Pelicano y desembocadura			
		42 Costera R. los Choros R. Elqui	420 Costeras entre Río Los Choros y Río Elqui			
		44 Costeras entre Elqui y Limarí	440 E. El Culebrón - Q. El Romeral (Incl.), 441 Q. Camarones (Incl. - R. Limarí)			
		46 Costeras entre R.Limarí y R.Choapa	460 Costeras entre Río Limarí y Estero El Teniente, 461 E. El Teniente y E. El Almendro (Incl.), 462 Costeras entre E. El Almendro y Q. Total (Incl.), 463 Costeras entre Quebrada Total y Río Choapa			
		48 Costeras entre R.Choapa y R.Quilimari	480 Costeras entre Estero Millahue y Estero Pupio, 482 Costeras entre Estero Pupio y Río Quilimari, 481 Estero Pupio			
		49 Río Quilimari	490 Río Quilimari hasta Muro Embalse Culimo			
		50 Costeras Quilimari-Petorca	500 Costera Quilimari - Petorca			
		51 Río Petorca	510 Río Petorca Alto (hasta despues Junta Río Sobrante)			1
	511 Petorca Medio	1				
	512 Río Petorca Bajo (Entre Las Palmas y Desembocadura)					

Agrupación				Estaciones Fluviométricas			
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	
Zona semiárida	Costeras	52 Río Ligua	520 Río Ligua Alto (Estero Alicahue)	1			
			521 Río Ligua Medio (entre Quebrada La Cerrada y Los Angeles), 522 Río Ligua Bajo (Entre Estero Los Angeles y Desembocadura)				
		53 Costeras Ligua - Aconcagua	530 Costeras entre Estero Ligua y Estero Catapilco, 531 Estero Catapilco, 532 Costeras entre Estero Catapilco y Río Aconcagua				
Zona Templada o mediterránea	Andinas	54 Río Aconcagua	540 Aconcagua Alto				
			541 Aconcagua Medio	3			
			542 Aconcagua Bajo	1			
		57 Río Maipo	570 Río Maipo Alto, 574 Río Maipo Bajo (Entre Río Mapocho y Desembocadura)				
			571 Río Maipo Medio	1			
			572 R. Mapocho Alto	2			
			573 Mapocho Bajo	1			
		60 Río Rapel	600 Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	4	2		
			601 Cachapoal Bajo	1	1		
			602 Río Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Río Claro)	2			
			603 Tinguiririca Bajo	1	2		
				604 Estero Alhue, 605 Río Rapel			
		71 Río Mataquito	710 Río teno	1	1		
			711 Río Lontue	2			
			712 Río Mataquito	1			
		73 Río Maule	730 Río Maule Alto (hasta junta río Melao)		3		
			731 Río Melao		3		
			732 Maule Medio	4	5		
			733 Perquilauquén Alto, 734 Perquilauquén Bajo, 736 Río Maule entre Loncomilla y Río Claro				
			735 Río Loncomilla	4	3		
738 Río Maule bajo	1						
737 Río claro	1		3				
81 Río Itata	810 Ñuble alto		1				
	811 Ñuble Bajo		1				

Agrupación				Estaciones Fluviométricas			
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	
Zona Templada o mediterránea	Andinas	81 Río Itata	812 Río Itata Alto hasta Río diguillin				
			813 Itata medio	1		1	
			814 Itata bajo		1	1	
		83 Río Bio-Bio	830 Río Bio Bío alto (hata despues junta río lamin)		1		
			831 Río Bio-Bio entre Río Ranquil y Río Duqueco	1	2		
			832 Río Duqueco, 833 Río Bio-Bio entre Río Duqueco y Río Vergara, 834 Río Reinaco, 835 Ríos Malleco y Vergara				
			836 Río Bio-Bio entre Río Vergara y Río Laja		1		
			837 Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	1	4		
			838 Laja Bajo	2	1	1	
	839 Río Bío Bío bajo	1					
	Costeras	55 Costeras entre Aconcagua y Maipo	550 E. Marga-Marga, 551 Lago Peñuelas, 552 E. Casablanca y E. San Jeronimo (Incl.), 553 E. del RosaRío (Incl.) a R. Maipo				
		56 Islas del Pacífico	560 Islas de Juan Fernandez, 560 Islas de Juan Fernandez, 561 Isla de Pascua				
		58 Costeras entre Maipo y Rapel	580 Estero Yali				
		61 Costeras Rapel-E.Nilahue	610 Costeras entre Río Rapel Y Estero Topocalma, 611 Estero Topocalma, 612 Costeras entre E. Topocalma y E. Nilahue 406,98, 614 Costeras entre Estero Nilahue y Limite Region, 613 Estero Nilahue				
		70 Costeras Límite Séptima R. Río Mataquito	700 Lago Vichuquen				
		72 Costeras Mataquito-Maule	720 Río Huenchullami, 721 Costeras entre Río Huenchullami y Río Maule				
		74 Costeras Maule y Límite Región	740 Costeras entre Quebrada Honda y Río Reloca, 741 Río Reloca, 742 Costeras entre Río Reloca y Río Curanilahue, 743 Río Curanilahue, 744 Costeras entre R. Curanilahue y limite Region (E. Pullay)				
80 Límite Octava y R. Itata		800 Costeras entre Limite Region y R. Taucu (Incl.), 801 Costeras entre Río Taucu y Río Itata					

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona Templada o mediterránea	Costeras	82 Costeras e Islas entre Río Itata y Río Bio-Bio	820 Costeras entre R. Itata y R. Pingueral (Incl.), 821 Costeras entre Río Pingueral Y Río Andalien, 822 Río Andalien, 823 Costeras entre Río Andalien Y Río Bio-Bio, 824 Isla Quiriquina			
		84 Costeras e Islas entre Ríos Bio-Bio y Carampangue	840 Isla Santa Maria, 841 Costeras entre Río Bio-Bio y Río Manco, 842 Costeras entre R. Manco (incl.) y R. Laraquete, 843 Costeras entre R. Laraquete (incl.) y R. Carampangue			
		85 Río Carampangue	850 Río Carampangue hasta bajo junta Estero Animas, 851 Río Carampangue entre Estero Animas y Río Colorado, 852 Río Lia, 853 R. Carampangue entre arriba R. Colorado y desembocadura			
		86 Costeras Carampangue - Lebu	860 Costeras entre Río Carampangue y Punta Lavapie, 861 Costeras entre Punta Lavapie y Río Quiapo, 862 Río Quiapo, 863 Costeras entre Río Quiapo y Río Lebu			
		87 Río Lebu	870 Río Curanilahue, 871 Río Pilpilco, 872 R. Lebu entre junta Ríos Curanilahue y Pilpilco y desembocadura 162,68			
		88 Costeras Lebu-Paicavi	880 Costeras entre Río Lebu y Estero Pangué, 881 Costeras entre R. Pangué (incl.) y R. Paicavi, 882 Río Paicavi			
Zona Templada Húmeda	Costeras	89 Costeras e Islas entre R. Paicavi y Limite Region	890 Costeras entre R. Paicavi y R. Lleullen, 891 R. Lleullen, 892 Costeras entre R. Lleullen y R. Tirua, 893 Río Tirua, 894 Isla Mocha			
		90 Costeras Límite Región- R. Imperial	900 Costeras entre Límite Region Y Río Imperial			
		92 Río Budi	920 Río Budi			
		93 Costeras entre R. Budi y R. Tolten	930 Costeras entre Río Budi y Río Toltén			
		95 Río Queule	950 Río Queule			
		100 Costeras Límite región - R. Valdivia	1000 Río Lingue, 1001 Costeras entre R. Lingue y R. Valdivia			
102 Costeras R. Valdivia - R. Bueno	1020 Costeras entre R. Valdivia y Río Chaihuin, 1021 Río Chaihuin, 1022 Río Colun, 1023 Costeras entre Río Colun y Río Bueno					

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona Templada Húmeda	Andinas	91 Río Imperial	910 Río Lumaco	1		
			912 Cautin Alto (hasta antes junta R. Quepe)	2		
			911 R. Chol Chol, 913 Río Quepe, 914 Río Cautin entre Río Quepe y Río Chol-Chol, 915 Río Imperial			
		94 Río Toltén	940 Río Allipen			
			941 Río Pucón			
			942 Lago Villarica y Tolten Alto			
			943 Tolten Bajo	1		
		101 Río Valdivia	1010 Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	1		
			1011 Río San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca), 1012 Río Calle Calle, 1014 Río Queule			
			1013 Río Cruces	1		
		103 Río Bueno	1030 Afluentes Lago Ranco, 1031 Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquen, 1032 Río Pilmaiquen, 1033 Río Bueno entre Río Pilmaiquen y Río Rahue, 1037 R. Bueno Bajo, 1034 Río Rahue hasta antes junta Río Negro, 1036 Río Rahue Bajo, 1037 Río Bueno			
			1035 Río Negro	1		
		104 Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo	1041 Río Maullin, 1040 Costeras entre Río Bueno y Río Maullin, 1042 Costeras e Islas entre Río Maullin y Río Chamiza, 1043 Río Chamiza, 1044 Costeras entre Río Chamiza y Río Petrohue, 1045 Río Petrohue, 1046 Costeras entre Río Petrohue y Río Puelo			
		105 Río Puelo	1050 Río Manso, 1051 R. Puelo Alto			
			1052 R. Puelo Bajo		1	
		Zona templada húmeda fría, oceánica o subantártica	Andinas	106 Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho	1060 Costeras entre Río Puelo y Punta Trentelhue, 1061 Costeras Entre Pta Tentelhue y Río Negro (incl.), 1062 Islas Pelada y Llancahue, 1063 Costeras entre Río Negro y Río Vodudahue, 1064 Río Vodudahue, 1065 Península Huequi, 1066 R. Reñihue, 1067 Costeras Entre R. Reñihue y R. Negro, 1068 Costeras Entre R. Negro (incl.) y R. Yelcho, 1069 Archipiélago Desertores	
1070 Río Futaleufu					1	
1071 Río Yelcho						

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona templada húmeda fría, oceánica o subantártica	Andinas	108 Costeras R YELCHO-Límite Regional	1080 Costeras entre Río Yelcho y Río Corcovado, 1081 Río Corcovado, 1082 Costeras entre Río Corcovado y Limite Region			
		109 Islas Chiloé y Circundantes	1090 Isla Chiloé, 1091 Islas al Este de Quenchi, 1092 Islas entre Punta Chillidque y Punta Ahoni, 1093 Isla Tranqui, 1094 Islas frente a Quellón, 1095 Islas al Sur de Chiloé, 1096 Isla Guafo			
		110 Río Palena y Costeras Limite Decima Region	1100 Costeras entre Limite Decima Region y Río Palena, 1101 Lago Palena, 1102 Río Palena entre Frontera y Río Rosselot, 1103 Río Rosselot, 1104 R. Palena Bajo			
		111 Costeras e Islas entre R.Palena y R. Aisén	1110 Costeras entre R. Palena y R. Marchant (incl.), 1111 Isla Refugio, 1112 Costeras entre Río Marchant y Seno Ventisquero, 1113 Costeras entre Seno Ventisquero y Río Cisnes, 1115 Costeras entre Río Cisnes y Punta San Andrés, 1116 Islas entre Canales Jacal y Puyuhuapi, 1117 Costeras entre Punta San Andres y Río Aisén, 1118 Islas al Este Canal Moraleda, 1114 Río Cisnes			
		113 Río Aisén	1131 Río Simpson	1		
			1130 Río Maniguales, 1132 Río Aisén bajo Junta Maniguales-Simpson y Río Riesco, 1133 Río Riesco, 1134 Río Aisén entre Río Riesco y Desembocadura			
		115 Río Baker	1150 R. Ibáñez		1	
			1151 Vertiente N. Lago J. Miguel Carrera (Exc. R. Ibáñez), 1152 Vertiente Sur Lago Jose Miguel Carrera			
			1153 R. Baker entre Desagüe L. J. M. Carrera y R. de La Colonia	2		
			1154 R. Baker entre arriba R. de La Colonia y Desembocadura	2		
		116 Costeras e Islas R. Baker y R. Pascua	1160 Costeras entre Río Baker y Río Bravo, 1161 Río Bravo, 1162 Costeras entre Río Bravo y Río Pascua, 1163 Islas entre Canal General Martínez y Canal Baker			
		117 Río Pascua	1170 Lago O'Higgins	2		
			1171 Río Pascua	1		
119 Cuenca del Pacífico	1190 Río de Las Cuatro Vueltas (Archipiélago)					

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona templada húmeda fría, oceánica o subantártica	Andinas	120 Costeras Límite región - R. Andrew	1200 Costeras del Canal Mesier Entre Limite Region y Peninsula Exmouth, 1201 Peninsula Exmuoth, 1202 Costeras del Fiordo Eyre (exc. Peninsula Exmouth), 1203 Costeras del NE. del Fiordo Falcon, 1204 Costeras entre Fiordo Falcon y Fiordo Penguin, 1205 Costeras entre Fiordo Penguin y Fiordo Europa, 1206 Peninsula Entre Fiordo Europa y Fiordo Guilardi, 1207 Peninsula Wilcok, 1208 Costeras entre fiordo Guilardi y Seno Andrew (exc. Peninsula Wilcok)			
		122 Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente	1220 Costeras entre Seno Andrew y Fiordo Calvo, 1221 Costeras entre Fiordo Calvo y Fiordo Peel, 1222 Peninsula entre Fiordo Peel y Paso Stewart, 1223 Costeras e Islas entre fiordo Peel y Peninsula Sta. Ines, 1224 Peninsula Santa Ines e Islas Adyacentes, 1225 Cordillera Sarmiento, 1226 Peninsula Roca e Isla Diego Portales, 1227 Costeras entre Peninsula Roca y Río Serrano, 1229 Costeras entre Río Serrano y Río Hollenberg			
			1228 Río Serrano	1	5	
		124 Costeras e Islas entre R. Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca	1240 Costeras del Golfo Almirante Montt y Fiordo Obstruccion, 1241 Peninsula Muñoz Gamero (Al N. Est. Excelsior), 1242 Peninsula Muñoz Gamero (Al S. Est. Excelsior), 1243 Islas Entre Canal Alte Martínez y Estrecho de Magallanes, 1244 Isla Riesco, 1245 Costeras Continentales del Seno Skyring			
		125 Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes	1250 Laguna Blanca, 1251 Costeras entre Laguna Blanca, Peninsula Brunswick y Santa Susana, 1252 Río Santa Susana, 1253 Costeras entre R. Santa Susana y Chorrillo Kimiri Aike, 1254 Costeras entre Chorrillo Kimiri Aike (incl.) y Cañadon Grande (incl.), 1255 Costeras entre Cañadon Grande y Punta Dungeness, 1256 Costeras Occidentales Peninsula Brunswick, 1257 Costeras del Estrecho de Magallanes de la Peninsula Brunswick			
			1258 Costeras e Islas Orientales de la Peninsula Brunswick	3	1	
		126 Vertiente del Atlántico	1260 Vertiente del Atlántico	1		
			1262 Río Penitente	1		
			1261 Fronterizas entre Río Rubens y Río Penitente, 1263 Fronterizas entre R. Penitente y R. Gallegos Chico, 1264 Río Gallegos Chico, 1265 Fronterizas entre Río Gallegos Chico y Río Cigike, 1266 Río Cigike y Río de Los Pozuelos, 1267 Cañadon Seco, 1268 Costeras Entre Cañadon Seco y Cañadon Grande			

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona templada húmeda fría, oceánica o subantártica	Islas	112 Archipiélagos de las Guaitecas y de los Chonos	1120 Archipiélago de las Guaitecas, 1121 Islas al Oeste Canal Alanta y Norte Canal Simpson, 1122 Islas al Este Canal Atlanta y Norte Canal Baeza, 1123 Islas entre Canales Simpson, Baeza y King, 1124 Islas entre Canales King, Perez Sur y Ninualac, 1125 Islas entre Canales King, Perez Sur y Moraleda, 1126 Islas entre Canales Ninualac, Pichirupa y Darwin, 1127 Islas entre Canales Ninualac, Moraleda, Darwin y Pichirupa, 1128 Islas entre Canales Darwin, Utarupa, Alejandro y Abandonados, 1129 Islas entre Canales Darwin, Costa, Tres Cauces y Utarupa			
		114 Costeras e Islas entre R Aisén y R Baker y Canal Gral. Martínez	1140 Costeras entre R. Aisén y R. Huemules (incl.), 1141 Costeras entre Río Huemules y Río Exploradores, 1142 Río Exploradores, 1143 Islas entre Fiordo Barros Arana y Golfo Elefantes, 1144 Costera y Ventisqueros entre R. Exploradores y Vent. Benito, 1145 Península de Taitao, 1146 Campo de Hielo Norte, 1147 Islas frente Ventisquero, 1148 Costeras entre Fiordo Julian y R. Baker			
		118 Costeras R Pascua Límite Region A Guayeco	1180 Costeras entre Río Pascua y Límite Region, 1181 Islas entre Canal Mesier y Continente, 1182 Islas Archipiélago Guayeco al N. Estrecho Barbosa, 1183 Isla Campana (Archipiélago Guayeco), 1184 Isla Prat (Archipiélago Guayeco), 1185 Isla Serrano (Archipiélago Guayeco), 1186 Isla Patricio Lynch, 1187 Otras Islas Archipiélago Guayeco			
		121 Islas entre límite Region y Canal Ancho y Estrecho de la Concepción	1210 Islas al Poniente del Canal Fallos, 1211 Islas entre Canal Fallos y la Isla Wellington, 1213 Islas al Poniente del Canal Picton, 1214 Islas Poniente Est. Trinidad, Est. Concepción y Canal Oeste, 1215 Isla Duque de York			
			1212 Isla Wellington e Isla entre esta y el Oriente		1	
		123 Islas C. Concepción, C. Sarmiento, e de Magallanes	1230 Islas Entre Fiordo Andrew, Canal Peel, Canal Inocentes y Estrecho de la Concepción, 1231 Islas Entre Canal Inocentes, Estrecho Sarmiento y Estrecho Guadalupe, 1232 Islas Entre Estrecho Guadalupe, Paso Castro y Estrecho Nelson, 1233 Islas Entre Paso Castro, Estrecho Sarmiento, Paso Victoria y Estrecho Smith, 1234 Islas Entre Paso Castro, Estrecho Smith, Canal Bambach, Canal Señoret y Paso Uribe, 1235 Islas Entre Paso Uribe, Canal Bertrán y Canal Nogueira, 1236 Islas al Poniente del Canal Nogueira, 1237 Canales entre Canal Bertrán, Canal Señoret y Canal O'Higgins, 1238 Islas entre Canal O'Higgins, Canal Bambach y Canal Smith			

Agrupación				Estaciones Fluviométricas		
Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Zona templada húmeda fría, oceánica o subantártica	Islas	127 Islas al Sur Estrecho de Magallanes	1270 Isla Desolación y adyacentes, 1271 Isla Jacques, 1272 Islas al S. del Seno Dyvenor y Canal Abra al O. I. Sta Ines, 1273 Isla Santa Ines y Carlos III, 1274 Islas al S. Isla Sta Ines y al O. Canal Bárbara y Canal Cockburn, 1275 Islas Clarence y adyacentes, 1276 Isla Capitán Aracena y adyacentes			
			128 Tierra del Fuego	1280 Costeras del Estrecho Magallanes, entre Frontera y Cabo Monmouth, 1281 Costeras Bahía Inútil (entre Cabo Monmouth y Cabo Nose), 1283 Costeras entre R. Azopardo y Seno Serrano, 1284 Península Entre Senos Serrano y Ventisqueros, 1285 Costeras Canal Beagle (entre Seno Ventisquero y Frontera), 1286 Cuencas Atlánticas hasta Frontera entre Arroyo Alfa (incl.) y Afluentes R. Grande (Arg.), 1288 Cuencas Compartidas al Sur R. Azopardo y Cuencas Cerradas, 1289 Islas al Sur de Tierra del Fuego y Canal Beagle		
		1282 Costeras entre Cabo Nose y R. Azopardo			2	
		1287 Afluentes Río Grande y Cuencas Cerradas		1		
		129 Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antártico	1290 Islas Londonberry y Adyacentes, al Sur de Canal Pomar y Oeste de Bahía Cook, 1291 Islas entre Brazos del Canal Beagle, al NE de Bahía Cook, 1292 Isla Hoste y adyacentes, 1294 Islas Nueva, Picton, Lennox, Evout y otras, 1295 Islas Wallaston, L'Hermite, Hornos y otras, 1296 Islas Diego Ramírez			
			1293 Islas Navarino y Gable		1	

Existe una importante asimetría en la información hidrológica disponible, con una clara preferencia en las cuencas de la zona central donde los recursos hídricos son más utilizados y abundantes. En general las cuencas costeras no cuentan con información. Dado que una respuesta oportuna en condiciones de sequías requiere de información actualizada, para la gestión de sequías se deben considerar como disponibles sólo los datos de estaciones satelitales y, a lo más, de aquellas que en sequías recientes han mostrado su utilidad (Figura 29). Con los registros de estas estaciones se conseguiría información para las zonas indicadas en la Figura 30, en la cual se han agregado además cuencas que cuentan con estaciones fluviométricas tipo 2, es decir satelitales pero con menos de 15 años de estadística.

Así entonces estas estaciones proporcionan información razonable en las principales cuencas del país, con excepción de las de Segunda y Décima Regiones y las cuencas costeras. En la Segunda Región es difícil disponer de mayores antecedentes y posiblemente habría que considerarla como una zona especial. En la Décima Región sería interesante encontrar estaciones adicionales para poder cubrir el comportamiento hidrológico en la zona, por lo que se plantea como una tarea a futuro.

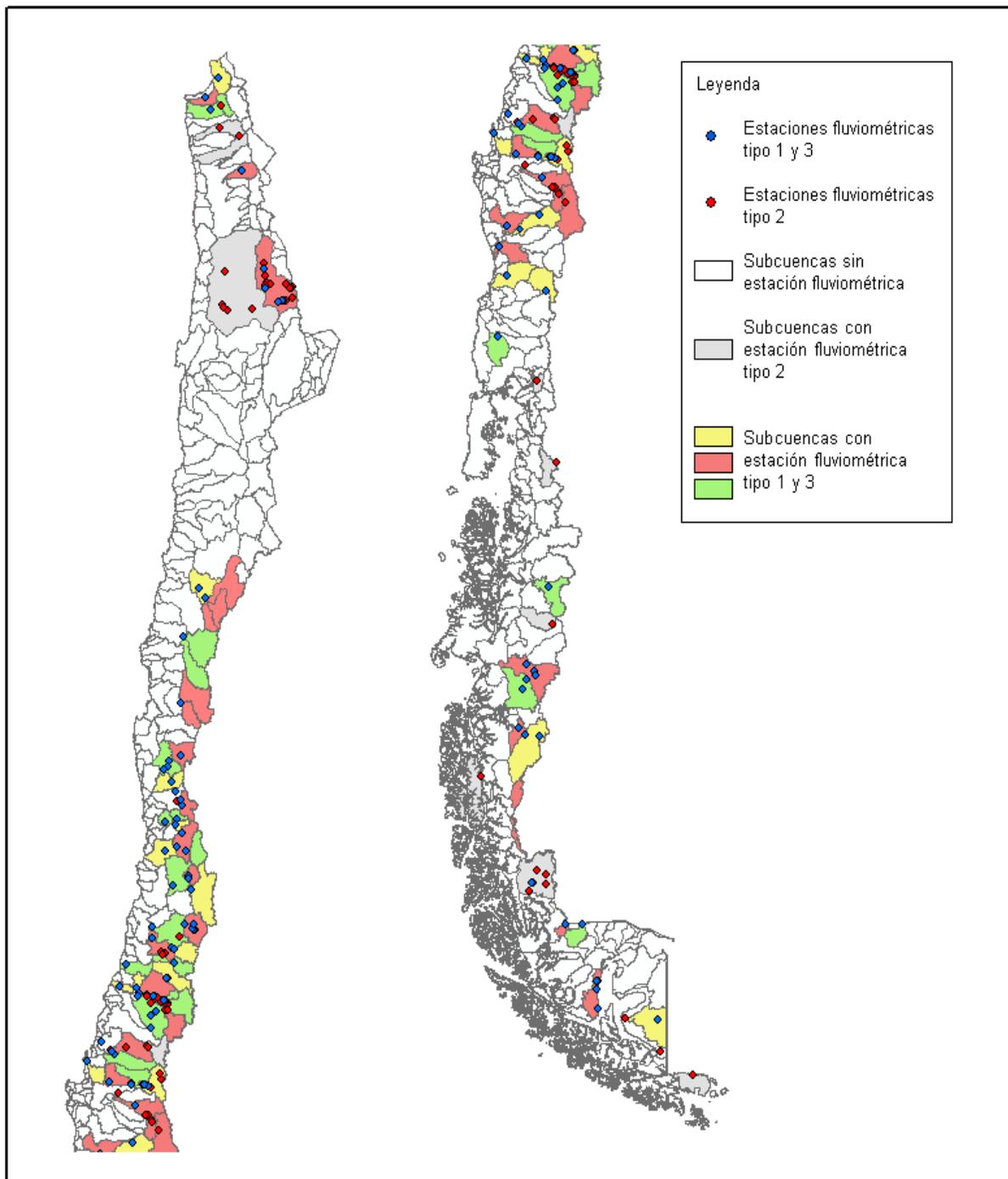


Figura 29: Subcuencas con estaciones fluviométricas disponibles para el monitoreo de sequías.

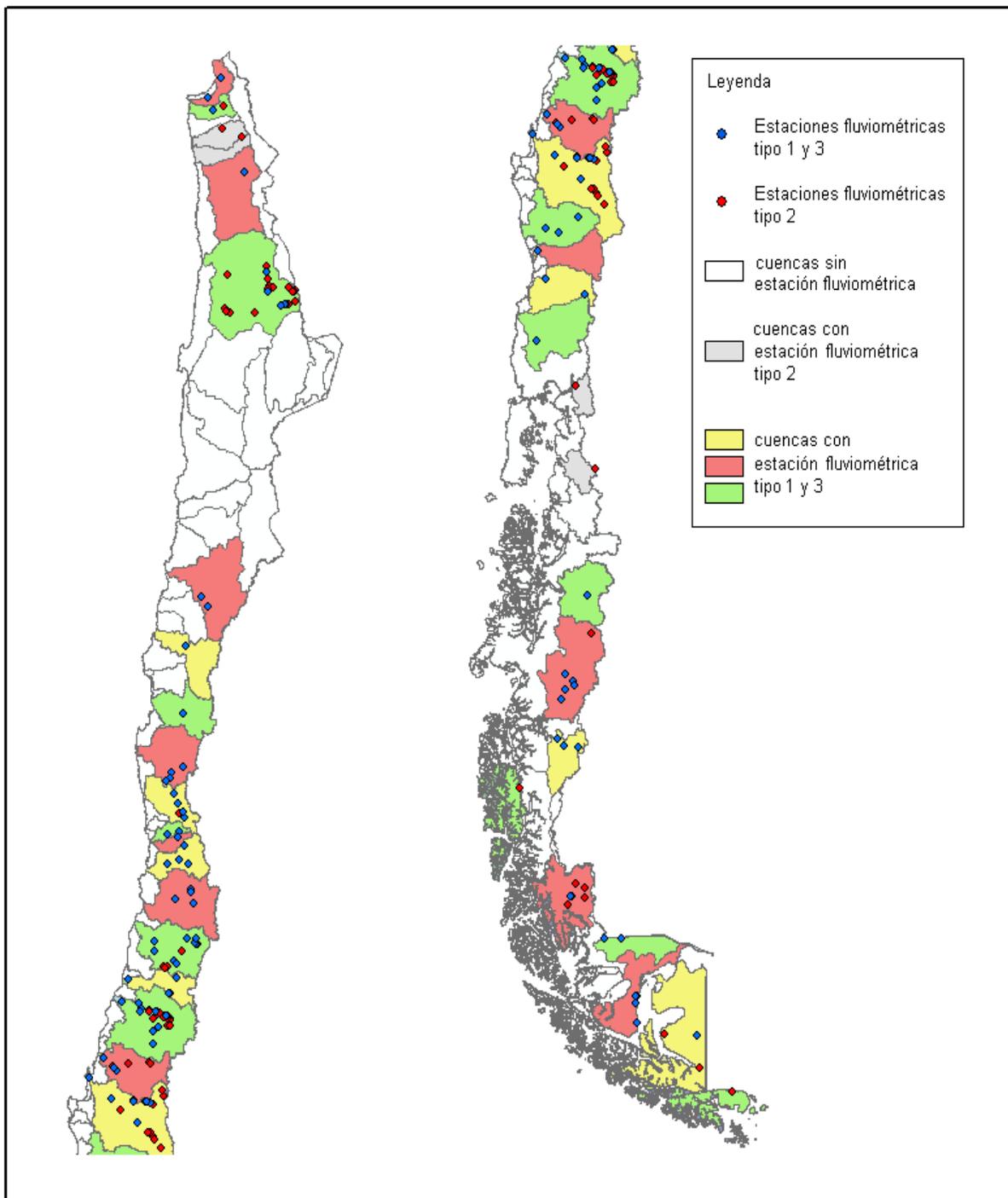


Figura 30: Cuencas principales con estaciones disponibles para monitoreo de sequías.

## 7.2 Base de datos para la gestión de sequías.

Para estimar los indicadores de condiciones de sequías se requiere disponer de datos de precipitaciones y caudales mensuales, para lo cual se usaran las estaciones seleccionadas y mencionadas anteriormente. Estas bases de datos se pueden preparar en Excel para facilitar los cálculos posteriores, elaborando una planilla para precipitaciones y otra para caudales. Las propiedades generales de ambas bases de datos son las siguientes:

- Considerar valores mensuales de precipitación total de cada mes, en mm, y de caudales promedio mensuales, en m<sup>3</sup>/s, respectivamente.
- Incluir el último valor disponible, en lo posible el del mes anterior, con el objeto de poder efectuar una gestión al día de condiciones de sequía. Esto requiere que ambas bases de datos se actualicen una vez al mes y que consideren estaciones que se controlen e informen consistentemente.
- Considerar estaciones pluviométricas y fluviométricas de la DGA preferentemente. Excepcionalmente en el futuro se podrían agregar otras estaciones de otros organismos oficiales como la DMC, siempre que sea posible mantener al día la información.
- Considerar toda la estadística disponible al menos desde 1978, de manera de contar con una extensión igual o mayor a 30 años. Podrían incorporarse estaciones con menos años, que hayan sido instaladas después de esta fecha, siempre que sigan vigentes y registren información en el futuro.
- Para el caso de la base de datos de precipitaciones la información corresponde a:
  - Nombre de la estación
  - UTM norte (Datum Provisional Sudamericano de 1956, Zona 19S)
  - UTM este (Datum Provisional Sudamericano de 1956, Zona 19S)
  - Altitud
  - Nombre región
  - Nombre provincia
  - Nombre comuna
  - Nombre cuenca
  - Código cuenca
  - Nombre sub cuenca
  - Código sub cuenca
  - Nombre sub subcuenca
  - Código sub subcuenca
  - Tipo (meteorológica, fluviométrica)
  - Sub tipo (pluviométrica, climatológica, termopluviométrica, etc.)
  - Código subtipo
  - Indicador de 30 años de datos
  - Datos mensuales desde enero de 1978 hasta la fecha más reciente.

- Para el caso de la base de datos de caudales la información corresponde a:
  - Nombre de la estación
  - Código BNA
  - UTM norte (Datum Provisional Sudamericano de 1956, Zona 19S)
  - UTM este (Datum Provisional Sudamericano de 1956, Zona 19S)
  - Altitud
  - Nombre región
  - Nombre provincia
  - Nombre comuna
  - Nombre cuenca
  - Código cuenca
  - Nombre sub cuenca
  - Código sub cuenca
  - Nombre subsubcuenca
  - Código sub subcuenca
  - Tipo cuenca
  - Vigencia estación
  - Indicador de 30 años de datos
  - Indicador de imagen satelital
  - Datos mensuales desde enero de 1978 hasta la fecha más reciente.
  
- El tratamiento de la información faltante es importante en esta base de datos. En el caso de la base de datos de precipitaciones, para los valores recientes, que permiten estimar un indicador en una estación en particular, se recomienda no considerar la información faltante, teniendo en cuenta que los valores espaciales se pueden interpolar en base a los datos registrados en estaciones vecinas. Para el caso de los valores históricos con los que se estiman las propiedades estadísticas de la serie, es recomendable rellenar la información faltante, pero con las siguientes condiciones:
  - Utilizar algún método de relleno (por ejemplo correlación múltiple con estaciones vecinas) que permita caracterizar correctamente tanto el promedio como la varianza. Se debe utilizar test estadísticos para validar el relleno.
  - Mantener siempre identificados en la base de datos los valores rellenados, de manera que se diferencien de los registrados. Se debe indicar claramente las estaciones vecinas utilizadas y el método estadístico aplicado para el relleno.
  
- En el caso de la base de datos de caudales, para los valores recientes que permiten estimar un indicador en una estación en particular, se recomienda no considerar la información faltante, y utilizar la información sobre sequías de ese periodo en base a las subcuencas vecinas pertenecientes a la misma cuenca, o la cuenca de orden superior para dicho período. En este caso en particular se recomienda no considerar la necesidad

de declarar condiciones de sequía, o no hacerlo en base a datos no registrados. Para el caso de los valores históricos con los que se estiman las propiedades estadísticas de la serie, es recomendable rellenar la información faltante, pero con las siguientes condiciones:

- Utilizar algún método de relleno (por ejemplo correlación múltiple con otras subcuencas de la misma cuenca y con el mismo régimen de alimentación) que permita caracterizar correctamente tanto el promedio como la varianza. Se debe utilizar test estadísticos para validar el relleno.
- Mantener siempre identificados en la base de datos los valores rellenados, de manera que se diferencien de los registrados. Se debe indicar claramente las estaciones vecinas utilizadas y el método estadístico aplicado para el relleno.

---

### **7.3 Valores de los indicadores y sus categorías.**

Con el objeto de definir los valores de los indicadores y las categorías correspondientes para la declaración de sequías, es necesario acordar primero los indicadores a emplear. Para ello se propone considerar como indicador el IPE, Índice de Precipitación Estandarizada, para precipitaciones o sequías meteorológicas, y el ICE, Índice de Caudales Estandarizado, para caudales o sequías hidrológicas. Estos índices tienen la ventaja de poderse aplicar a zonas extensas y de diferente condición climática, manteniendo un criterio común de valores relacionados con el riesgo de ocurrencia de las sequías. Esto es importante ya que es ampliamente aceptado en todo el mundo que las sequías extraordinarias se clasifiquen de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia, de manera de evitar que situaciones comunes sean calificadas como extraordinarias. Este indicador del riesgo, o de la probabilidad de ocurrencia es un buen criterio común para la sequía extraordinaria en una zona extensa y climáticamente heterogénea. La idea básica de equidad es que la declaración de sequía extraordinaria responda al mismo riesgo de ocurrencia en todas las zonas.

Si bien los indicadores mencionados permiten evaluar el riesgo de ocurrencia de las condiciones de sequía en un periodo de tiempo cualquiera, en base a las estadísticas de precipitaciones y caudales disponibles, los valores deben calibrarse para las condiciones en que se desea considerar como extraordinarias las sequías en Chile. Este valor debe definirse a nivel nacional, o podrían proponerse valores distintos para diferentes zonas.

### 7.3.1 Procedimiento para la estimación del IPE y del ICE

El índice de precipitación estandarizada fue desarrollado por McKee et al., (1993) con el propósito de definir y monitorear las sequías meteorológicas a diferentes escalas de tiempo y espacio. Tiene la ventaja que el indicador mismo, IPE para precipitaciones o ICE para caudales, se comporta como una variable normal estándar con la cual es simple efectuar cálculos estadísticos y estimar probabilidades. El método de identificación de sequías mediante el IPE es actualmente utilizado para definir y monitorear sequías por el Colorado Climate Center, el Western Regional Climate Center y el National Drought Mitigation Center, en EE.UU. Además ha sido empleado en diferentes partes del mundo para estudios específicos sobre sequías.

Partiendo de series homogéneas de datos, para los cuales se quiere calcular el IPE, se debe definir, además, las escalas de tiempo en que se realizarán los cálculos. Una ventaja del uso del IPE es que permite identificar períodos secos y húmedos al definir distintas escalas temporales, que van desde 1 a 72 meses (Edwards y McKee, 1997)<sup>36</sup>. Para efectos de este estudio, las series homogéneas tendrán escalas temporales de 1, 3, 6, y 12 meses, teniendo información para sequías de corto y mediano plazo, para cada estación en la base de datos. Una vez estimado el valor del IPE para cada estación es posible efectuar interpolaciones espaciales del IPE para toda el área de interés y agregar valores del índice para áreas semejantes, como comunas, provincias, regiones o cuencas. Para el caso del ICE, los valores son representativos de cuencas y en base a ellos podrían estimarse valores del ICE sobre áreas arbitrarias que consideren agrupaciones de cuencas mediante estimaciones ponderadas por el área. De esta forma, la información se puede agrupar por estación, cuenca, comuna, provincia, región, o emplearse como valores puntuales para generar curvas de nivel de igual valor del IPE que permitan tener una idea de la extensión espacial de las sequías.

Según la concepción original, la información básica para calcular el IPE (ICE) debe ser una serie homogénea completa de datos de precipitaciones (caudales) mensuales de al menos 30 años de duración (Wu et. al., 2001). Como se ha discutido previamente, en el territorio nacional no existe una gran cantidad de estaciones con registros de este largo, por lo que se propone utilizar estaciones con registros más cortos (estaciones tipo 2 y algunas tipo 3). Sin embargo, se espera que en un futuro de corto y mediano plazo se calculen estos indicadores sólo a partir de estaciones con registros de las características adecuadas. Finalmente, se debe tener en cuenta que la calidad del indicador estará relacionada con la calidad de los datos originales utilizados en el análisis, por lo que es necesaria una revisión previa de ellos.

El IPE (ICE) corresponde a una transformación (normalización y estandarización) de la variable de precipitación (caudal), aceptando que las variables en general son no normales. Tanto los datos de precipitaciones como los datos de caudales presentan mucha asimetría e incluso pueden tener distribuciones de probabilidad mixtas cuando existe una cantidad significativa de valores nulos como ocurre en climas áridos y semiáridos. La Figura 31 muestra gráficamente la transformación para el caso de una variable mixta y la Figura 32 para

---

<sup>36</sup> Sergio M. Vicente Serrano y José M<sup>a</sup> Cuadrat Prats, (2002). Desarrollo de un método analítico para la obtención del SPI (Standardized Precipitation Index) como herramienta para el seguimiento y prevención de sequías climáticas. Departamento de Geografía y Ordenación del territorio Universidad de Zaragoza.

el caso de una variable continua.

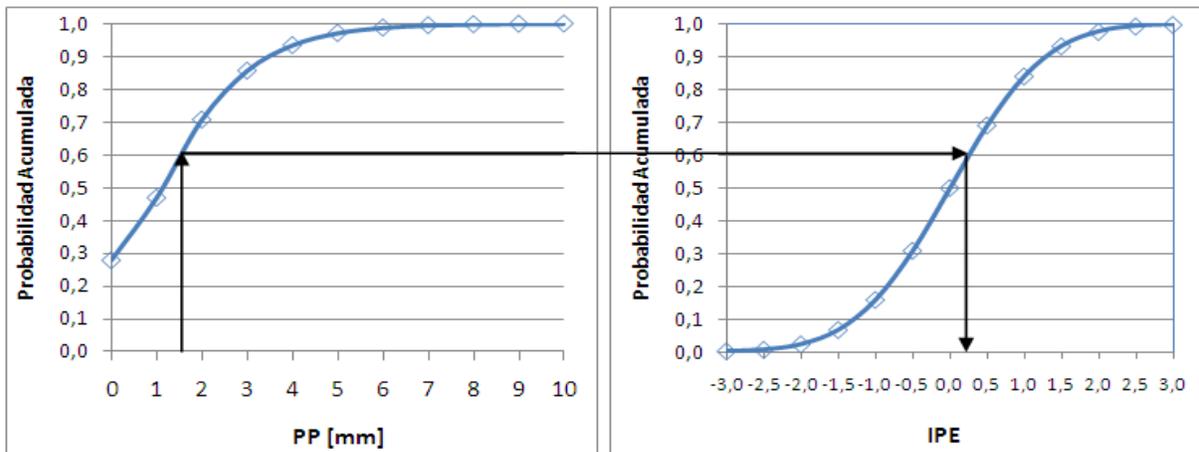


Figura 31: Transformación de una distribución mixta a una distribución Normal estándar.

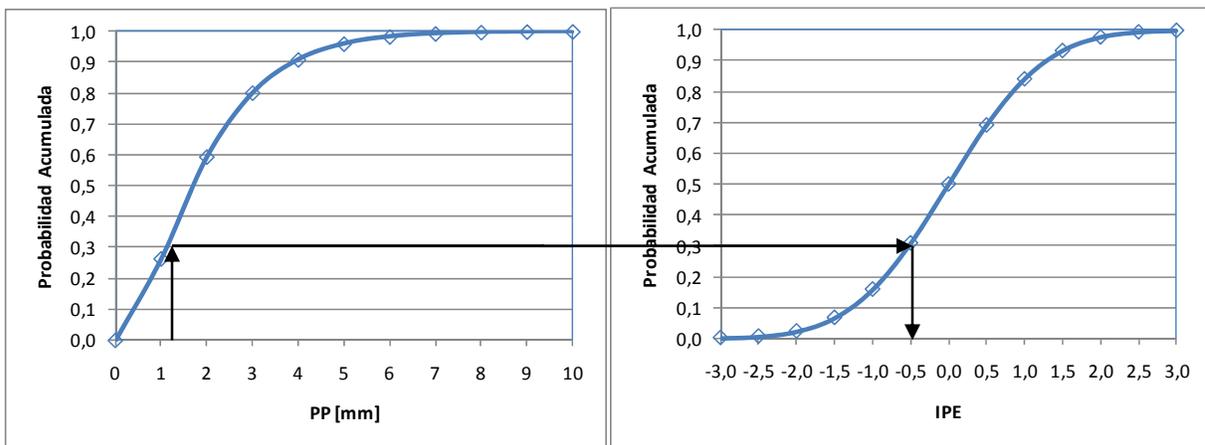


Figura 32: Transformación de una distribución continua a una distribución Normal Estándar.

Para estimar el valor del IPE (ICE) en una estación se dispone de una serie de valores mensuales que considera opcionalmente el valor del mes, o el de la suma de los 3, 6 ó 12 últimos meses, de la cual se desea estimar la función de distribución,  $H(x)$ . Debido a la posible existencia de valores nulos, sobre todo en el caso de precipitaciones mensuales en zonas áridas y semiáridas, la probabilidad acumulada estará definida por medio de la función mixta  $H(x)$  como:

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x)$$

Donde  $q$  es la probabilidad que los datos tomen valor cero, la que puede estimarse empíricamente como:

$$q = m/N$$

donde  $m$  es la cantidad de valores nulos y  $N$  la cantidad total de valores en la serie.

La distribución de probabilidades  $G(x)$  considera solo aquellos valores que son distintos de cero, por lo que el cálculo de sus parámetros considera una menor cantidad de valores que la serie original. Para esto McKee et al (1993) recomiendan emplear una distribución Gamma de dos parámetros, con límite inferior 0, que puede aceptar y acomodar razonablemente grandes asimetrías. Por otra parte esta distribución puede aplicarse directamente a los caudales y precipitaciones mensuales, sin una transformación logarítmica previa, ya que para el caso de sequías interesan los valores bajos y no los altos como en el caso de crecidas, que requieren de asimetrías aún más altas. En el caso en que no existan valores nulos, la distribución se ajusta a todos los valores disponibles, con límite inferior cero. Otros autores (e.g. Lloyd-Hughes and Saunders, 2002; Guttman, 1999; Madsen et al., 1998) han utilizado otras distribuciones que se ajustan mejor a los datos de precipitación mensual (log-normal, valores extremos, exponencial, etc.), por lo tanto, se recomienda elegir mediante un test estadístico la distribución que mejor se ajusta a los datos de la región en estudio. Sin embargo, es importante destacar que la distribución Gamma de dos parámetros es ampliamente utilizada en muchos países (Wu et al., 2007) y es usada en los procedimientos de declaración y mitigación por el National Drought Mitigation Center (NDMC), el Western Regional Climate Center (WRCC), y el National Agricultural Decision Support System (NADSS).

La distribución gamma de dos parámetros tiene como límite inferior de la variable el valor cero, es decir acepta sólo valores positivos y por lo tanto se ajusta bastante bien a valores de precipitaciones y caudales. La función de distribución está definida como:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{(\alpha-1)} e^{-x/\beta}, \text{ para } x > 0$$

Donde  $\alpha$  ( $>0$ ) es el parámetro de forma,  $\beta$  ( $>0$ ) es el parámetro de escala,  $x$  ( $>0$ ) es el valor de la variable, precipitación o caudales, y  $\Gamma(\alpha)$  la función gamma definida como<sup>37</sup>:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Para el cálculo de esta función se propone la siguiente aproximación para el cálculo de la función gamma<sup>38</sup>:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha + 4.5)^{\alpha-0.5} e^{-(\alpha-4.5)} \sqrt{2\pi} \left[ 1 + \sum_{i=0}^5 \frac{c_i}{\alpha + i} \right]$$

Donde las constantes  $c_i$ , están definidas como:  $c_0=76,18009173$ ,  $c_1=-86,50532033$ ,  $c_2=24,01409822$ ,  $c_3=-1,231739516$ ,  $c_4=0,12085003 \times 10^{-2}$ ,  $c_5=-0,536382 \times 10^{-5}$ .

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son estimados en cada estación, para cada serie de acuerdo a la escala de tiempo de interés (1 mes, 3 meses, 6 meses, 12 meses, etc.) y para cada mes del año. El método de máxima verosimilitud permite estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , como:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

Donde,

$$A = Ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n Ln(x_i)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

con  $n$  = número de observaciones en la serie, sin considerar datos con valor cero.

---

<sup>37</sup> Abramowitz M., and A. Stegun, (1965). Handbook of Mathematical Functions. Dover. New York

<sup>38</sup> Cornelius Lanczos, (1964). A Precision Approximation of the Gamma Function. Journal of the Society for Industrial And Applied Mathematics: Series B, Numerical Analysis, 1964.

Los parámetros resultantes son usados para determinar la probabilidad acumulada de eventos de precipitación observados, esto para un mes dado y una escala de tiempo determinada, para la estación en cuestión. La probabilidad acumulada está dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \cdot \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^{\infty} x^{(\hat{\alpha}-1)} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

Si  $t = x/\hat{\beta}$  esta ecuación se convierte en la función gamma incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

Esta función no puede ser expresada explícitamente en  $x$ , por lo que debe ser evaluada numéricamente<sup>39</sup>. Dado el valor de  $x$  y los parámetros estimados de la distribución, el valor de  $G(x)$  se puede aproximar con suficiente precisión, con el método computacional propuesto por Press et al.<sup>40</sup> (1986). También es posible calcularlo con la función de Excel `DIST.GAMMA(x,  $\alpha$ ,  $\beta$ , verdadero)`, definida como:

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

Donde los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son estimados a partir de las series de tiempo y el valor “verdadero” implica el retorno del valor de la probabilidad acumulada para la distribución gamma, evaluada en el punto  $x$ . La función se define para valores de  $\alpha$  y  $\beta$  mayores a 0, y valores de  $x$  entre cero e infinito. Cuando se tiene un valor del parámetro  $\beta < 0$ , el parámetro ingresa a la función como  $|\beta|$ . La función  $G(x)$  queda definida como:

$$G(x) = 1 - \text{DIST.GAMMA}(x, \alpha, |\beta|, \text{verdadero}).$$

En resumen para cada serie mensual de cada estación que dispone de  $N$  valores de  $X$ , se estiman los parámetros  $q$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ , con los cuales se puede calcular para cualquier valor de  $X$  la función de distribución de valores no nulos  $G(x)$ , y posteriormente la de la serie completa como  $H(x)$  con:

$$H(x) = q \quad \text{si } x = 0$$

<sup>39</sup> Vujica Yevjevich, (1972). Probability and Statistics in Hidrology. Fort Collins, Colorado, U.S.A.

<sup>40</sup> Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., and Flannery, B. P.: 1986, Numerical Recipes - The art of scientific computing, Cambridge University Press, 40 West 20th Street, New York, NY 10011, USA, first edition

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x) \text{ si } x > 0$$

Conocida la función de distribución y sus parámetros, para estimar el valor del IPE correspondiente al valor actual de la serie X, se calcula la probabilidad acumulada H(x). Esta probabilidad, es luego transformada a una variable aleatoria normal estándar Z con media cero y varianza uno, que corresponde al valor de IPE.

El procedimiento propuesto por Abramowitz y Stegun, (1965) para la estandarización de la variable, consiste en una aproximación mediante polinomios. La variable estandarizada z (o IPE) correspondiente a una probabilidad acumulada  $F_z(z)$  se puede aproximar con un error menor a  $4.5 \cdot 10^{-4}$  mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{IPE} &= - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) && \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \\ \text{IPE} &= + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) && \text{para } 0,5 < H(x) < 1 \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} && \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \\ t &= \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} && \text{para } 0,5 < H(x) < 1 \end{aligned}$$

donde  $c_0=2,515517$ ,  $c_1=0,802853$ ,  $c_2=0,010328$ ,  $d_1=1,433788$ ,  $d_2=0,189269$ ,  $d_3=0,001308$

Conceptualmente el IPE, o el ICE, representa la cantidad de desviaciones típicas en que un evento se aleja de su valor medio. Sin embargo esto no es exacto para pequeñas escalas de tiempo en que la distribución de la variable original es muy asimétrica. Por el contrario, el indicador mismo tiene una distribución normal, o normal truncada, de promedio cero y desviación uno, lo que es muy deseable para hacer comparaciones entre distintas estaciones y zonas.

### Ejemplo de cálculo de IPE en base a información de precipitaciones.

Como ejemplo de aplicación de la metodología expuesta se calcula a continuación el valor del IPE para series de precipitación acumulada de seis meses en el mes de marzo, para las estaciones de Copiapó y Puerto Montt. En la primera de ellas se presenta el caso en que existe una cantidad importante de ceros en la muestra y en la segunda se tiene un distribución continua.

En la Tabla 26 Tabla 26 se muestran los valores de precipitación acumulada de seis meses para el mes de marzo de cada año en cada una de las dos estaciones. Es decir considera la precipitación de enero, febrero y marzo del año calculado y octubre, noviembre y diciembre del año anterior. Adicionalmente, las últimas filas de la tabla, presentan los estadísticos principales de la muestra: el número total de datos, N, la cantidad de ceros, m, el promedio ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ). Finalmente se presenta el valor de  $A = \log(\bar{x})$ .

Tabla 26: Precipitaciones acumuladas de seis meses en el mes de Marzo para estaciones Copiapó y Puerto Montt.

AÑO	<i>P<sup>6 meses</sup></i> <i>Copiapó</i>	<i>P<sup>6 meses</sup></i> <i>Pto Montt</i>	AÑO	<i>P<sup>6 meses</sup></i> <i>Copiapó</i>	<i>P<sup>6 meses</sup></i> <i>Pto Montt</i>
1979	0.5	416.0	1997	0.0	750.6
1980	0.0	685.5	1998	0.0	618.3
1981	0.0	652.8	1999	23.0	474.1
1982	0.0	531.0	2000	1.0	638.7
1983	0.0	n.a.	2001	0.0	1023.2
1984	11.0	581.0	2002	0.0	604.0
1985	0.0	683.3	2003	0.0	966.5
1986	0.0	707.6	2004	0.0	806.4
1987	3.5	507.6	2005	0.0	834.5
1988	0.5	492.5	2006	0.0	811.5
1989	0.0	647.9	2007	0.0	733.0
1990	0.0	556.7	2008	0.0	497.7
1991	0.0	659.5	2009	0.0	500.8
1992	8.1	803.2	<b>N</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
1993	n.a.	778.8	<b>m</b>	<b>23</b>	<b>0</b>
1994	0.0	542.1	$\bar{x}$	<b>6.8</b>	<b>657.88</b>
1995	0.0	715.3	$\sigma$	<b>8.2</b>	<b>146.9</b>
1996	0.0	516.2	<b>A</b>	<b>0.85</b>	<b>0.023</b>

A continuación se indican los parámetros de la distribución:  $q$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .

	Copiapó	Pto. Montt
$q$	0,77	0
$\alpha$	0,73	21,46
$\beta$	9,37	30,65

La Figura 33 presenta la distribución Mixta con Gama 2 ajustada a cada caso, considerando los valores empíricos observados y la función de distribución ajustada.

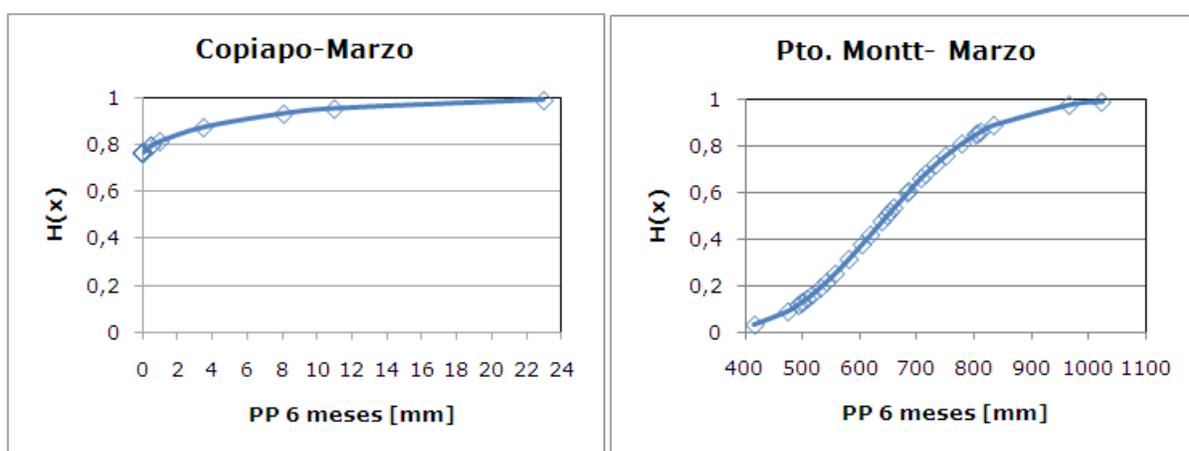


Figura 33: Gráfico Izquierda: Distribución acumulada mixta con los parámetros estimados con serie de datos Enero 1979 – Septiembre 2009 para Estación Copiapó. Gráfico Derecha: Distribución acumulada continua, parámetros estimados con serie de datos Enero 1979 – Septiembre 2009 para Estación Puerto Montt.

Los resultados de los cálculos para las distribuciones en las distintas estaciones para el mes de Marzo se presentan en la Tabla 27. En las columnas de la derecha de la tabla se encuentran los valores de IPE correspondientes a las precipitaciones registradas en la muestra.

Tabla 27: Resultados obtenidos para distribución acumulada H(x) e IPE para seis meses de precipitación en el mes de Marzo en las estaciones de Copiapó y Puerto Montt.

<b>Copiapó</b>			<b>Pto. Montt</b>		
<b>PP [mm]</b>	<b>H(x)</b>	<b>IPE</b>	<b>PP [mm]</b>	<b>H(x)</b>	<b>IPE</b>
0	0,77	0,73	416,0	0,03	-1,90
0	0,77	0,73	474,1	0,09	-1,37
0	0,77	0,73	492,5	0,11	-1,21
0	0,77	0,73	497,7	0,12	-1,16
0	0,77	0,73	500,8	0,13	-1,14
0	0,77	0,73	507,6	0,14	-1,08
0	0,77	0,73	516,2	0,16	-1,01
0	0,77	0,73	531,0	0,19	-0,88
0	0,77	0,73	542,1	0,21	-0,80
0	0,77	0,73	556,7	0,25	-0,68
0	0,77	0,73	581,0	0,31	-0,49
0	0,77	0,73	604,0	0,38	-0,32
0	0,77	0,73	618,3	0,42	-0,21
0	0,77	0,73	638,7	0,47	-0,06
0	0,77	0,73	647,9	0,50	0,00
0	0,77	0,73	652,8	0,51	0,04
0	0,77	0,73	659,5	0,53	0,08
0	0,77	0,73	683,3	0,60	0,25
0	0,77	0,73	685,5	0,60	0,26
0	0,77	0,73	707,6	0,66	0,41
0	0,77	0,73	715,3	0,68	0,46
0	0,77	0,73	733,0	0,72	0,58
0	0,77	0,73	750,6	0,76	0,70
0,5	0,80	0,83	778,8	0,81	0,88
0,5	0,80	0,83	803,2	0,85	1,03
1,0	0,81	0,90	806,4	0,85	1,05
3,5	0,87	1,15	811,5	0,86	1,08
8,1	0,93	1,49	834,5	0,89	1,22
11,0	0,95	1,67	966,5	0,98	1,97
23,0	0,99	2,28	1023,2	0,99	2,28

### 7.3.2 Valores de los indicadores IPE e ICE y Categorías de sequías

El IPE, o el ICE, es un indicador normalizado tanto en espacio como en tiempo, que se considera en forma individual para cada estación, o para cada cuenca, y para diferentes escalas de tiempo. Este indicador representa la probabilidad acumulada en relación al período base para cada parámetro estimado, o la probabilidad de excedencia de que ocurran valores iguales o inferiores al evaluado. La Tabla 28 indica valores de IPE, ICE, y su correspondiente probabilidad acumulada según una distribución normal estándar, y el período de retorno correspondiente asumiendo que se trata de eventos normales independientes.

Tabla 28: Valores de IPE, su correspondiente probabilidad acumulada y periodo de retorno de eventos iguales o inferiores al valor

Valor del IPE o ICE	Prob. Acumulada	Periodo de retorno, años
-3,0	0,0014	714,00
-2,0	0,0228	43,80
-1,0	0,1587	6,30
0,0	0,5000	2,00
1,0	0,8413	1,20
2,0	0,9772	1,02
3,0	0,9986	1,00

Utilizando los valores de IPE, McKee et al., (1993), propusieron una categorización con el fin de identificar la severidad de cada uno de los períodos secos (Tabla 29).

Tabla 29: Clasificación de los valores del IPE según McKee et al., (1993)

IPE	Categoría
>2,00	Extremadamente húmedo
1,50 a 1,99	Muy Húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muy seco
<-2,00	Extremadamente seco

La clasificación de McKee define rangos del IPE relativamente amplios y sin una referencia al período de retorno o riesgo de ocurrencia de eventos secos, los que pueden ser poco aplicables a situaciones nacionales.

Para aplicar este indicador a Chile, y calificar situaciones de sequías en base a él, puede tenerse en cuenta los siguientes aspectos. Tradicionalmente los recursos hídricos superficiales han sido asignados a proyectos de riego en base a caudales que tienen una probabilidad de excedencia de 85%, esto significa que estos sistemas estarán en condiciones de sequía, o escasez, para situaciones con una probabilidad acumulada menor a 0,15 equivalente a un periodo de retorno de 6,67 años. Por otra parte, una sequía con un periodo de retorno de 50 años puede considerarse una catástrofe. Como antecedente puede considerarse que para la zona central de Chile la sequía ocurrida a fines de la década de 1960 ha sido considerada como la más grave de la segunda mitad del siglo XX, y se ha adoptado como una condición extrema para la disponibilidad de recursos de abastecimiento hidroeléctrico del Sistema Interconectado Central, SIC. Entre estos dos valores se necesita un mayor detalle en la clasificación. La Tabla 30 presenta los valores de IPE o ICE, la probabilidad de ocurrencia acumulada respectiva y el periodo de retorno estimado para eventos de 2, 5, 10, 15, 20 y 50. Además se incluye el mencionado caso de 6.67 años de período de retorno.

Tabla 30: Valores de IPE o ICE, probabilidad de ocurrencia acumulada de obtener un valor igual o menor y periodo de retorno estimado.

Valor del IPE o ICE	Prob. Acumulada	Periodo de retorno, años
-2,05	0,020	50,00
-1,64	0,050	20,00
-1,50	0,067	14,93
-1,28	0,100	10,00
-1,04	0,150	6,67
-0,84	0,200	5,00
0,00	0,500	2,00
0,52	0,700	1,43
1,04	0,850	1,18
1,28	0,900	1,11
1,50	0,933	1,07
1,64	0,950	1,05
2,05	0,980	1,02

Utilizando estos valores como límites se propone la calificación de eventos que se muestra en la Tabla 31, para establecer una identificación y seguimiento de condiciones de sequías en Chile.

Tabla 31: Clasificación de eventos de sequías para valores de IPE o ICE y su probabilidad acumulada.

Rangos de IPE o ICE	Prob. de ocurrencia	Calificación
$\leq -2,05$	0,020	Extremadamente seco
-2,05 a -1,28	0,080	Muy seco
-1,28 a -0,84	0,100	seco
-0,84 a 0,84	0,600	Normal
0,84 a 1,28	0,100	Húmedo
1,28 a 2,05	0,080	Muy húmedo
$\geq 2,05$	0,020	Extremadamente húmedo

En términos gruesos, bajo estas condiciones, en un periodo de 10 años, en promedio se tendrían 6 años normales, dos años secos y dos húmedos. Los años secos, muy secos o extremadamente secos tendrían un periodo de retorno de 5 años. Desde el punto de vista administrativo parece razonable disponer de un indicador que permita identificar condiciones de escasez relativamente frecuentes, como es el caso de condiciones de IPE Seco, con un valor menor o igual a -0,84, y un periodo de retorno de 5 años. Esto permitiría a la autoridad la libertad de declarar sequía cuando los recursos comienzan a escasear, aunque aún no se tenga una situación compleja.

### 7.3.3 Series temporales de IPE en distintas zonas climáticas.

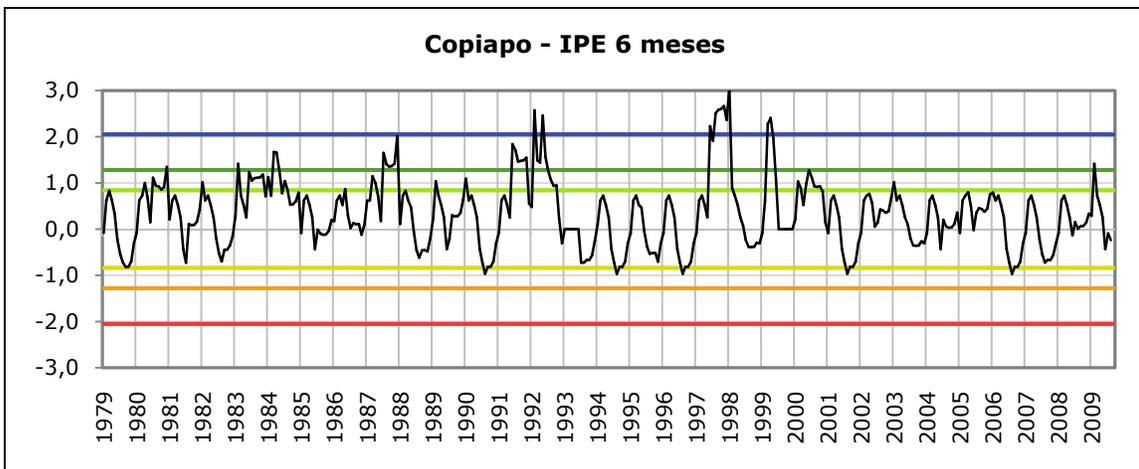
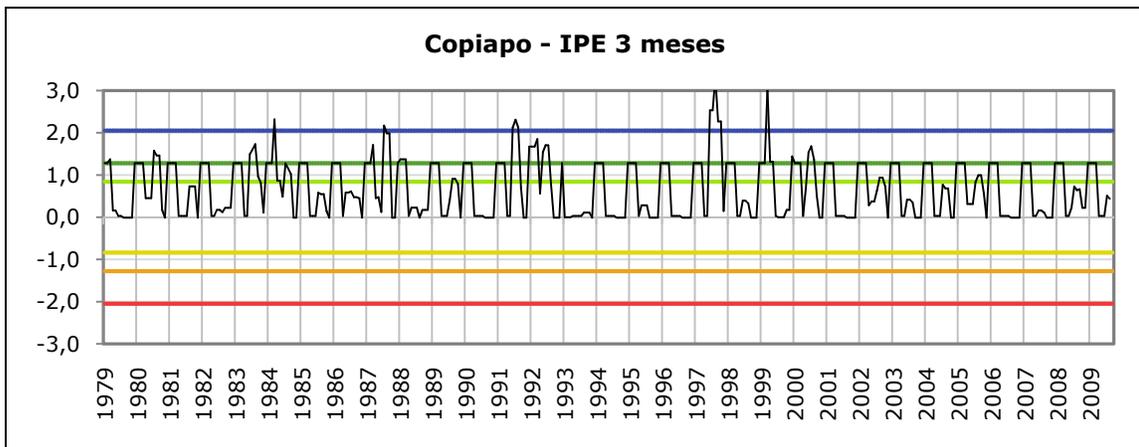
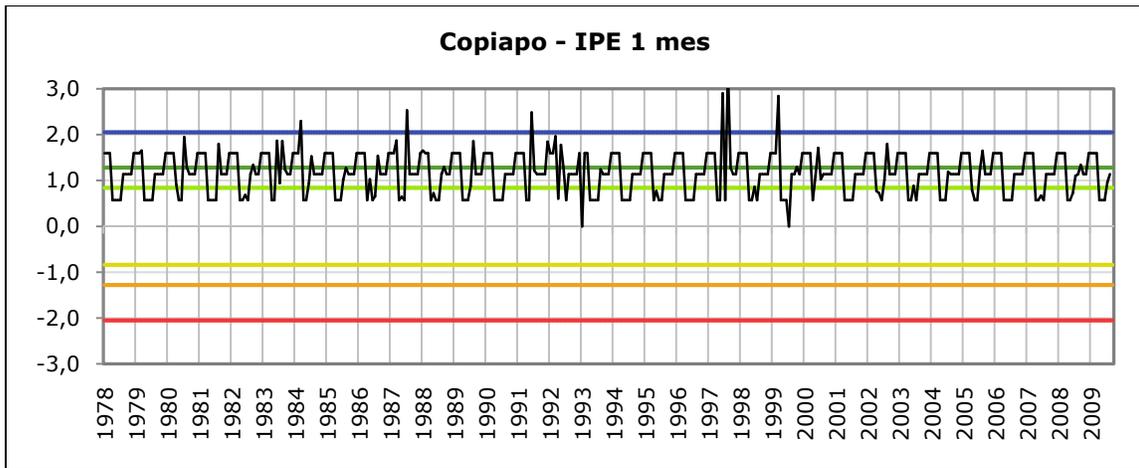
Para apreciar el comportamiento de los indicadores en el caso de situaciones reales en Chile, la metodología y los límites de los indicadores se han aplicado a varias estaciones pluviométricas de la DGA, como las que se indican en la siguiente tabla, cada una de ellas perteneciente a una condición climática diferente.

En cada una de ellas se han calculado las series mensuales de 30 años de los valores de IPE para 1, 3, 6 y 12 meses, y calificado la condición de sequía en cada mes de acuerdo al valor del indicador. Los gráficos muestran las series de IPE para cada escala de tiempo y cada una de las estaciones.

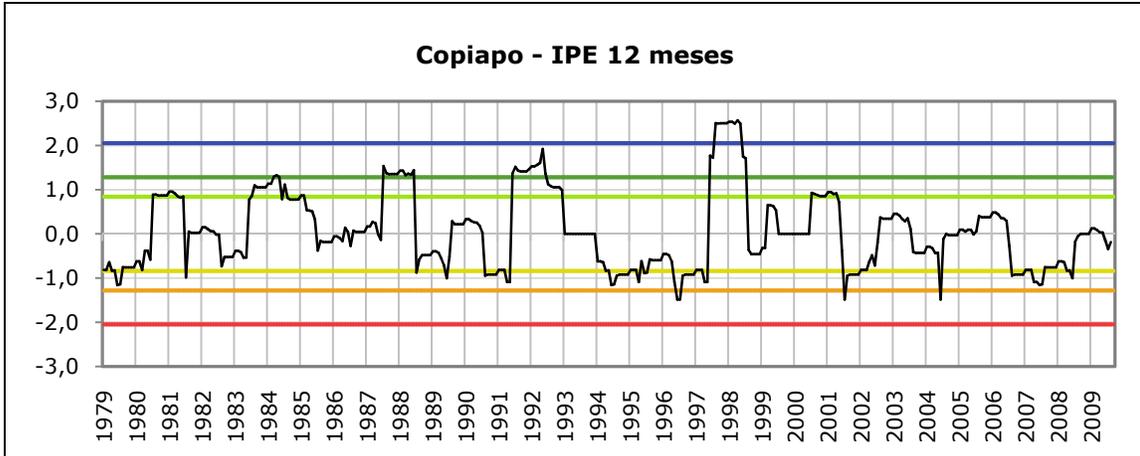
Tabla 32: Estaciones pluviométricas seleccionadas

Estación	Clima
Copiapó	Árido
San Felipe	Semiárido
Convento Viejo	Mediterráneo
Puerto Montt	Húmedo

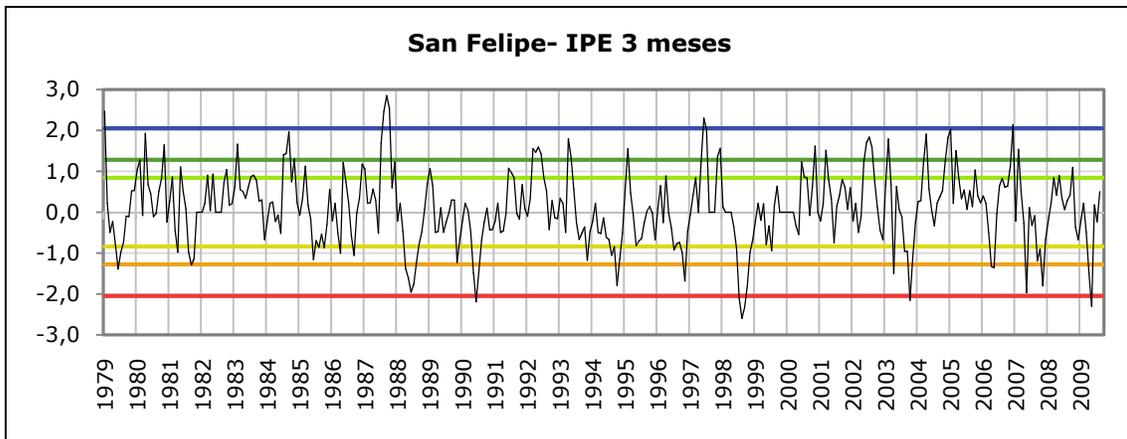
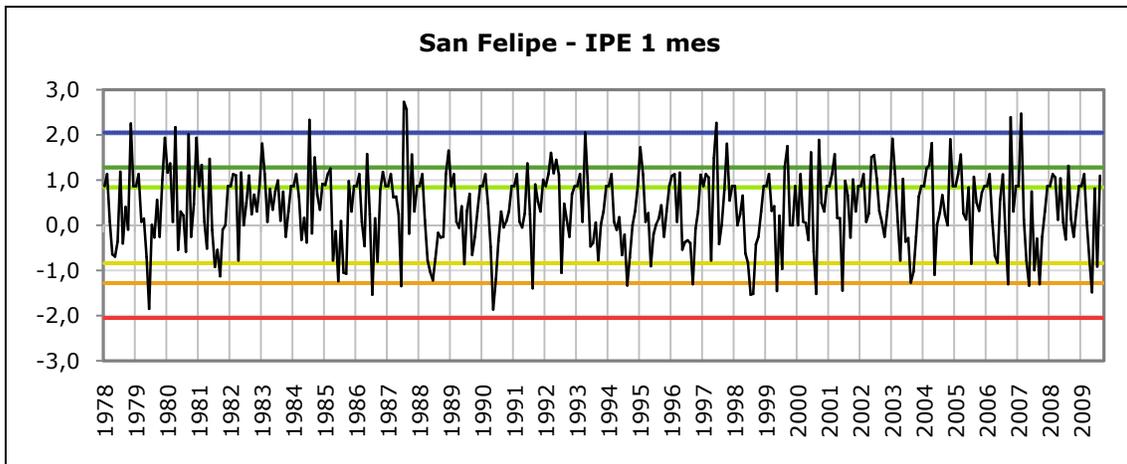
Estación Copiapó



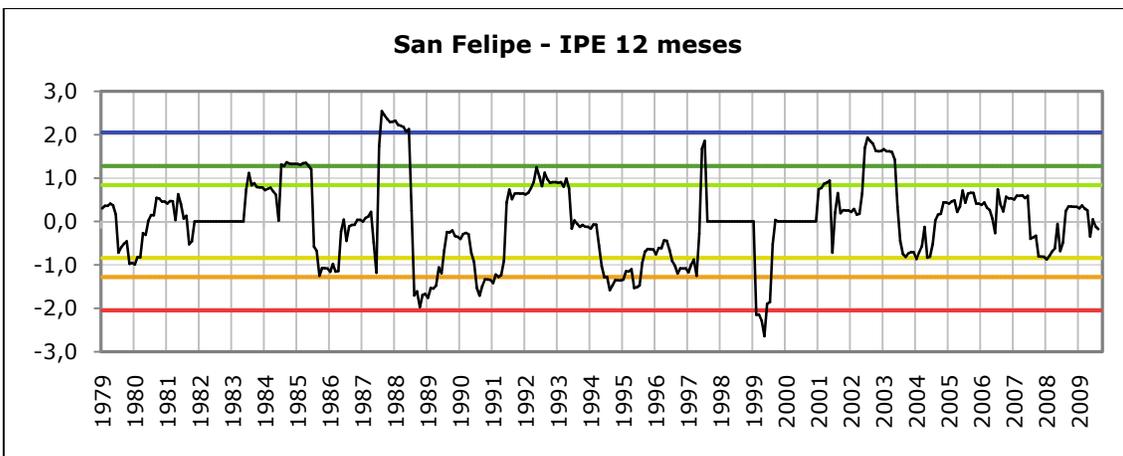
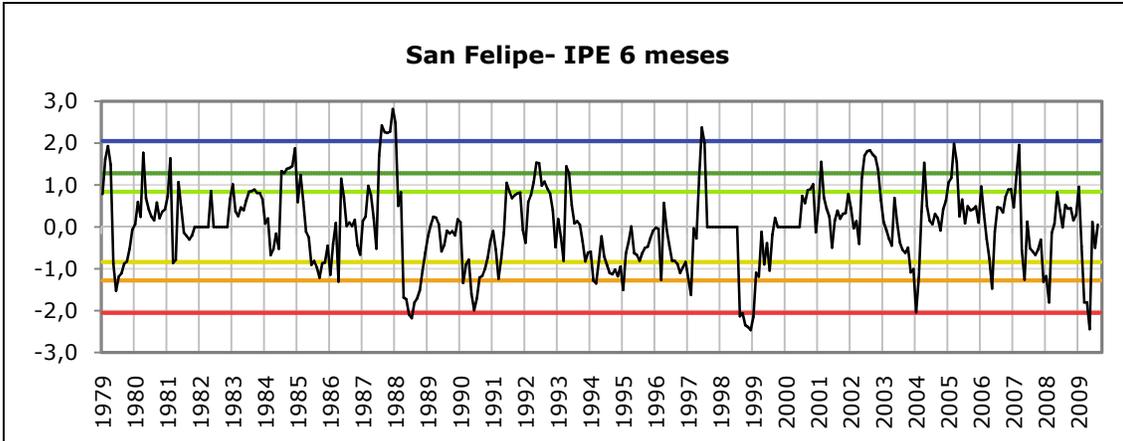
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



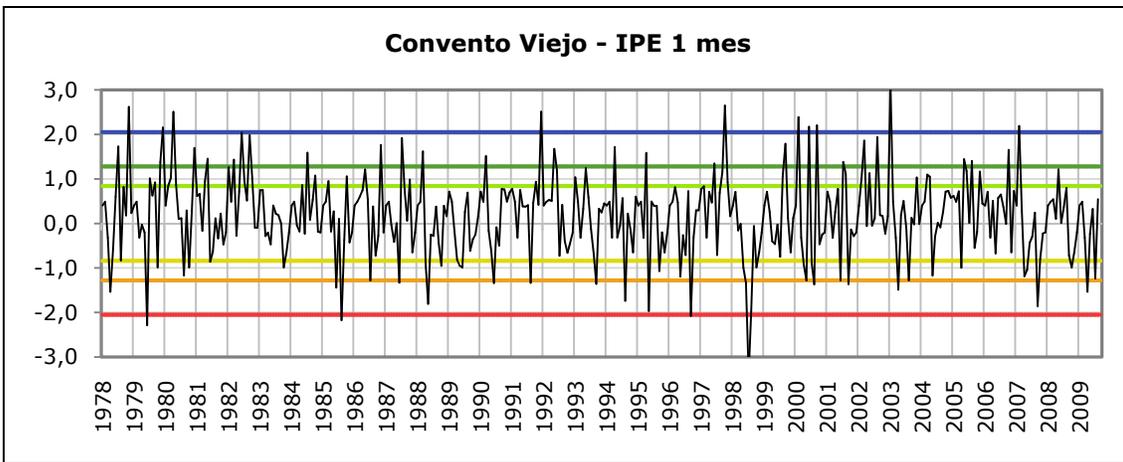
Estación San Felipe



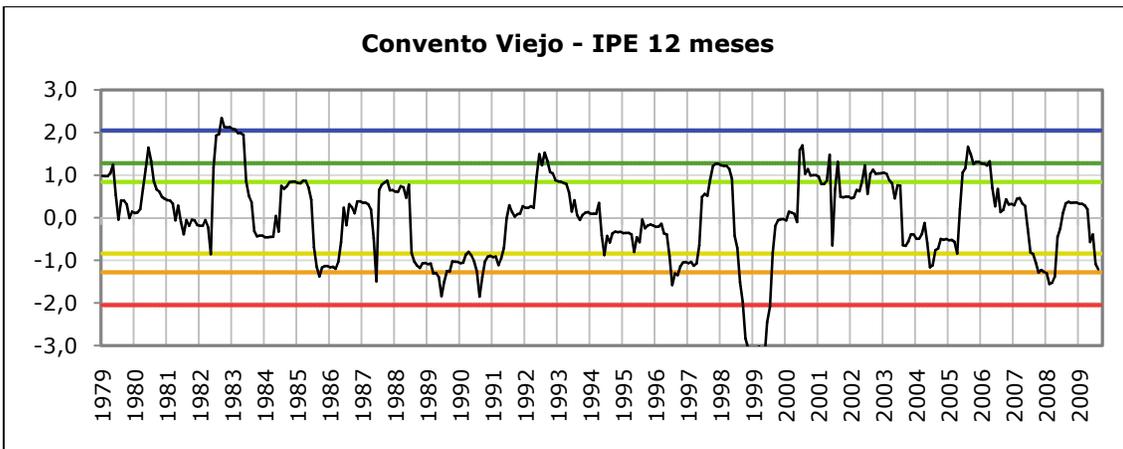
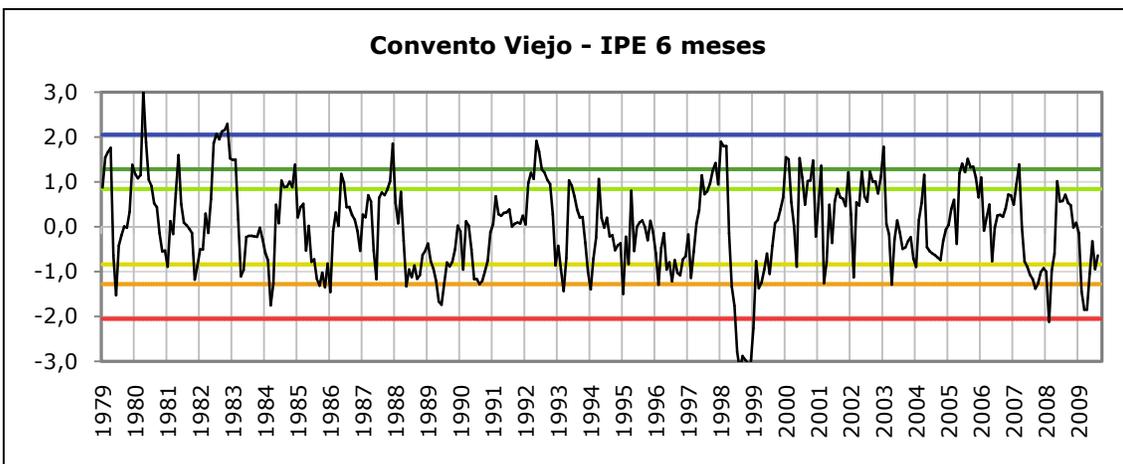
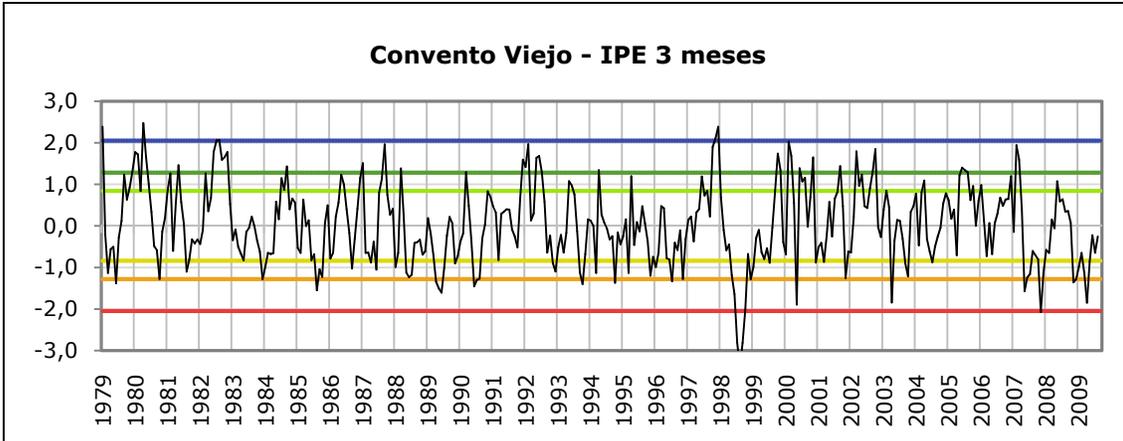
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



Estación Convento Viejo

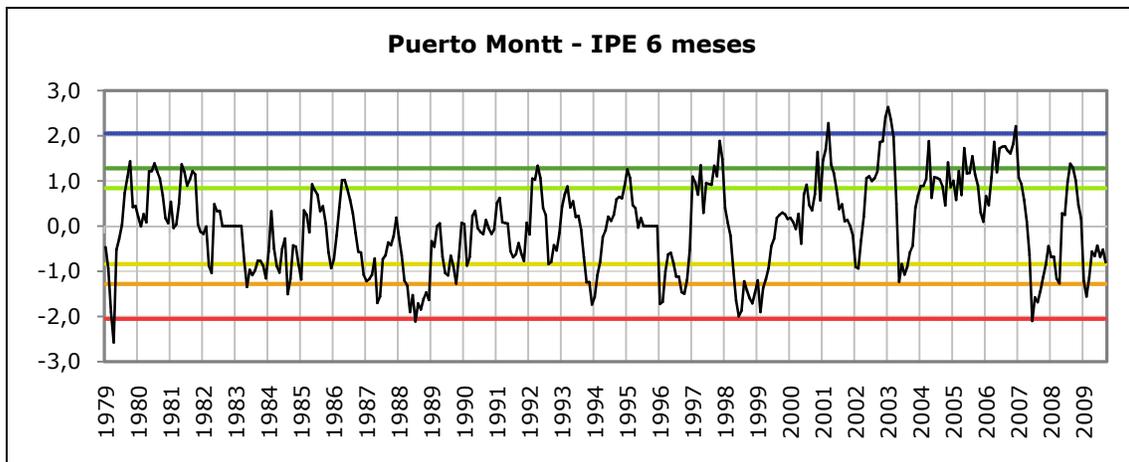
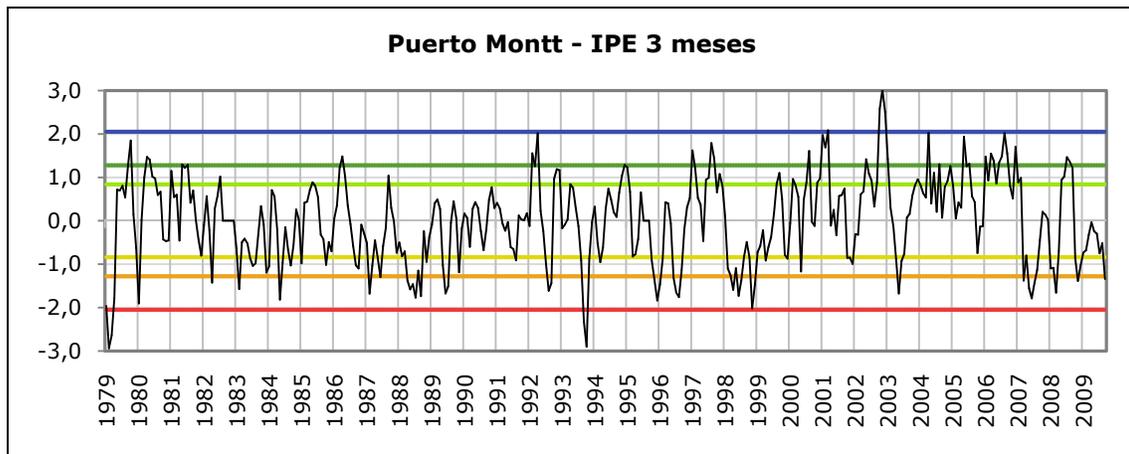
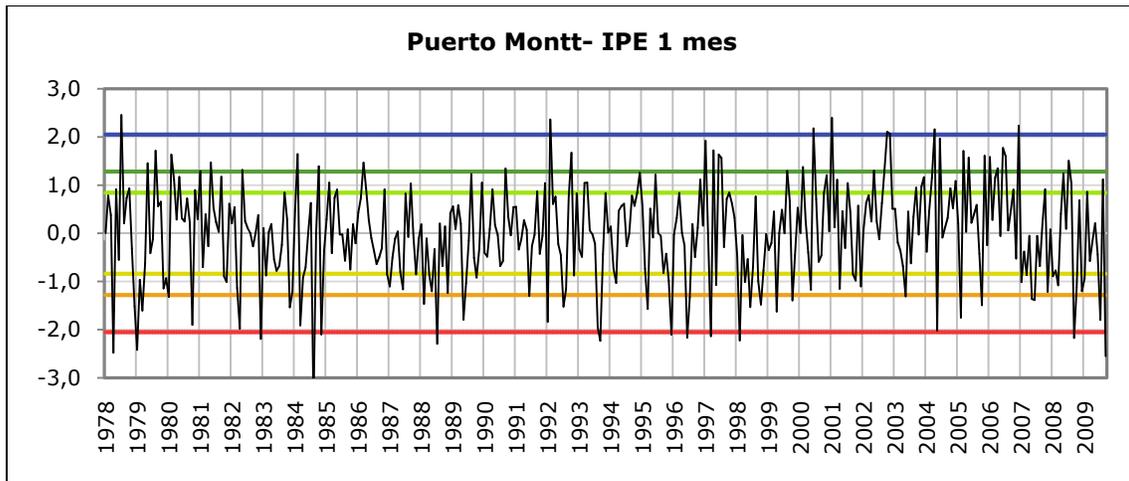


2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —

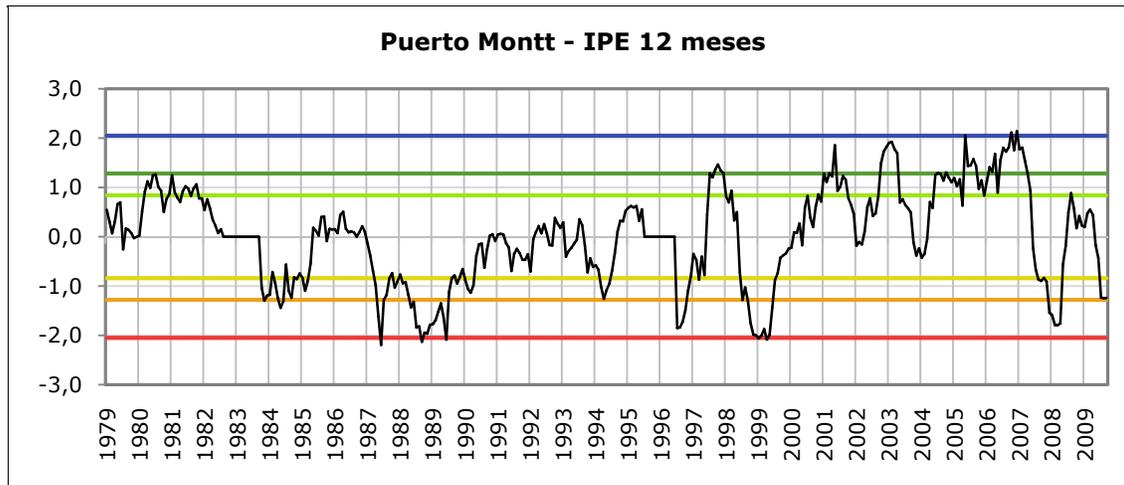


2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —

Estación Puerto Montt



2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



El comportamiento en el Norte de Chile, representado por Copiapó, se caracteriza por la habitualidad con que se presentan condiciones de precipitación nula. Efectivamente en esta estación es normal observar varios meses sin precipitación, por lo tanto la escasez de ella durante varios meses consecutivos, no es un indicador de anormalidad. Como resultado de ello las series de 1 y 3 meses, en 30 años de análisis, muestran siempre situaciones normales. Al analizar la serie temporal de 6 meses, solo se aprecian algunos puntos que se alejan de lo normal, alcanzando un rango seco según la clasificación propuesta. Para la serie temporal de 12 meses, se aprecia una condición seca de mayor severidad, sin embargo no llega al rango de sequía extrema. Es decir, en este tipo de climas para que se manifiesten condiciones de sequía es necesario observar una cantidad importante de meses con escasa precipitación. El indicador IPE comienza a tener sentido para escalas temporales de 6 y más meses, pero no puede considerarse efectivo para menos meses.

En climas semiáridos, como ocurre en San Felipe, habitualmente se presenta precipitación concentrada en invierno, período en que la precipitación nunca es nula. La condición de escasez comienza a ser reflejada gráficamente en la serie de 3 meses y es más evidente en escalas de 6 meses, que logran capturar lo ocurrido en la mitad más húmeda del año. De este modo la condición de periodos secos se presenta frecuentemente y la probabilidad aumenta considerablemente para periodos de sequía extrema.

En un clima mediterráneo, por ejemplo Convento Viejo, existen meses que siempre contribuyen a aportar precipitación importante. Esto hace que la falta de precipitación sobre el territorio en esos meses puede generar periodos extremadamente secos en una serie de tiempo mensual. Estos periodos extremos se incrementan al considerar series mayores de tiempo. En 30 años de análisis, frecuentemente se presenta una condición seca extrema.

En un clima húmedo, como ocurre con Puerto Montt en las series analizadas, todos los meses contribuyen con un aporte de precipitación. Esto hace que sea posible detectar en cualquier

mes una escasa contribución a la humedad, y que si se analiza el caso de 3 meses consecutivos se pueda detectar situaciones de sequía fácilmente cuando en ellos hay poca precipitación. Para escalas de tiempo mayores es posible compensar condiciones de escasez, de manera que las sequías tienden a recuperarse. A diferencia de un clima mediterráneo, un clima húmedo tiene resultados inversos a las series de tiempo. Igual que en los casos anteriores el indicador de 6 meses parece ser el más robusto para identificar condiciones de sequía.

A continuación se presenta un cuadro resumen, en que se muestra la cantidad de meses que presentaron condiciones secas, muy secas y extremadamente secas en cada una de las estaciones para cada escala temporal del IPE. Además se indica las veces en que la serie del IPE pasa a una condición de sequía en cada caso.

Tabla 33: Meses y número de veces en condiciones de sequías de diferente severidad (secas, muy secas y extremadamente secas) y distintas escalas de IPE en series de 30 años para las diferentes estaciones analizadas

IPE	Escala Tiempo	Extremadamente Seco		Muy Seco		Seco	
		Meses	Veces	Meses	Veces	Meses	Veces
Copiapó	1 Mes	0	0	0	0	0	0
	3 Meses	0	0	0	0	0	0
	6 Meses	0	0	0	0	5	5
	12 Meses	0	0	4	3	45	9
San Felipe	1 Mes	0	0	16	15	18	18
	3 Meses	6	4	17	13	25	19
	6 Meses	9	4	21	11	37	19
	12 Meses	4	1	28	5	37	10
IPE	Escala Tiempo	Extremadamente Seco		Muy Seco		Seco	
		Meses	Veces	Meses	Veces	Meses	Veces
Convento Viejo	1 Mes	4	4	17	21	24	24
	3 Meses	4	2	20	18	39	29
	6 Meses	8	2	21	16	48	23
	12 Meses	10	1	19	7	51	9
Puerto Montt	1 Mes	13	12	26	31	38	38
	3 Meses	4	2	36	18	42	31
	6 Meses	3	3	32	11	48	19
	12 Meses	5	4	35	7	39	9

Los indicadores de escalas de tiempo más largas son menos volátiles que los más cortos, presentan mayor dependencia temporal y mantienen la condición durante más tiempo. En este sentido el indicador de un mes puede ser interesante solo para observar cómo evolucionan las

condiciones meteorológicas del momento, pero no da información sobre situaciones de escasez prolongadas. Por otra parte el indicador de 12 meses es sumamente estable en todas las condiciones climáticas, con una mayor persistencia y menos variabilidad temporal. Se estima que el indicador IPE más apropiado es el de 6 meses ya que permite detectar a tiempo situaciones de escasez y tiene una variabilidad temporal razonable.

#### 7.3.4 Series de valores de ICE en zonas climáticas

Análogo al caso del IPE, se ha aplicado la metodología y los límites de los indicadores a varias estaciones fluviométricas de Chile, como las que se indican en la siguiente tabla

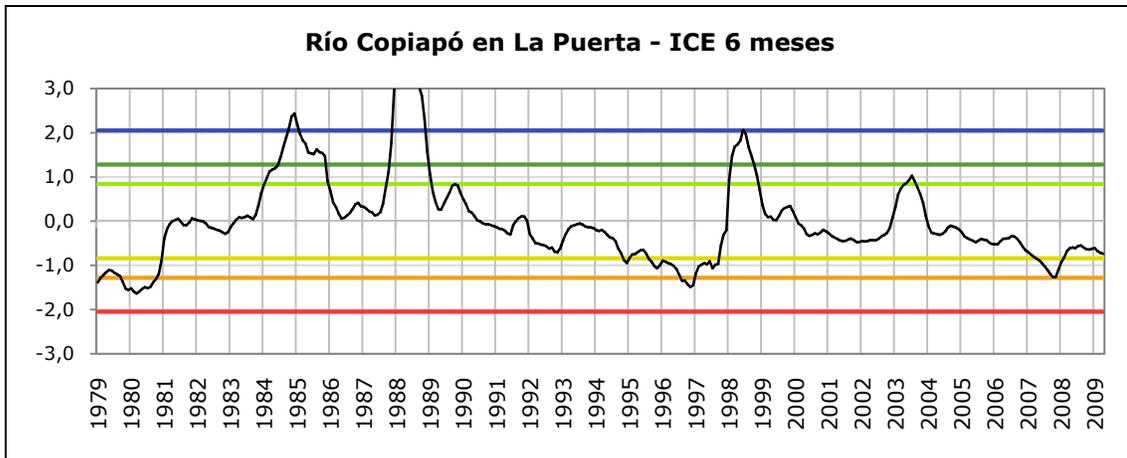
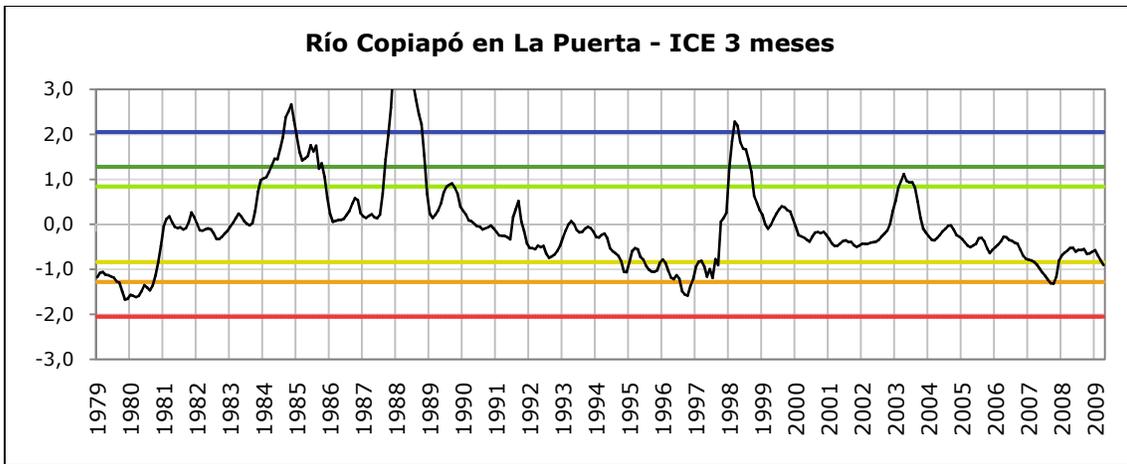
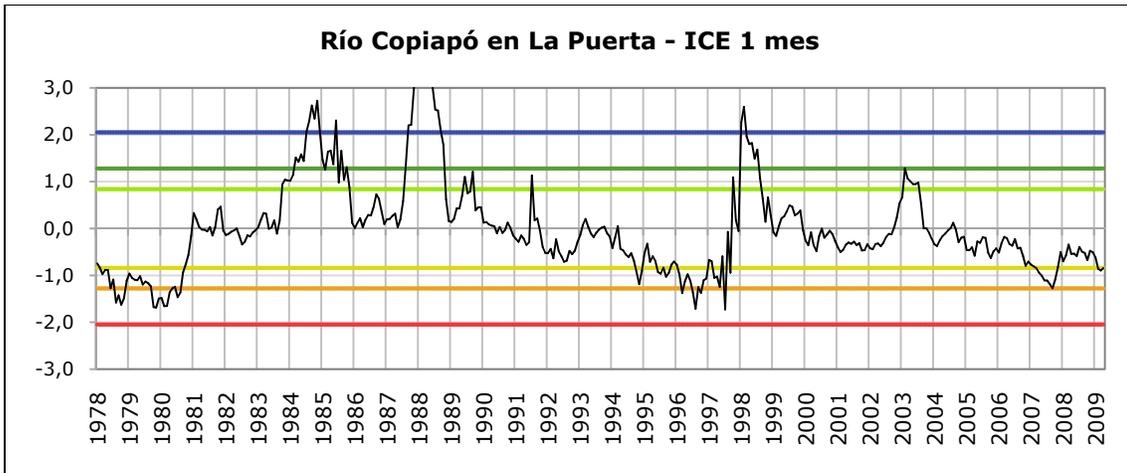
Tabla 34: Estaciones fluviométricas seleccionadas

<b>Estación</b>	<b>Clima</b>
Río Copiapó en La Puerta	Árido
Río Huasco en Santa Juana	Árido
Río Maipo en El Manzano	Semiárido a mediterráneo
Estero Arrayán en la Montosa	Semiárido a mediterráneo
Río Tinguiririca bajo Los Briones	Mediterráneo
Río Bío bío en Rucalhue	Húmedo

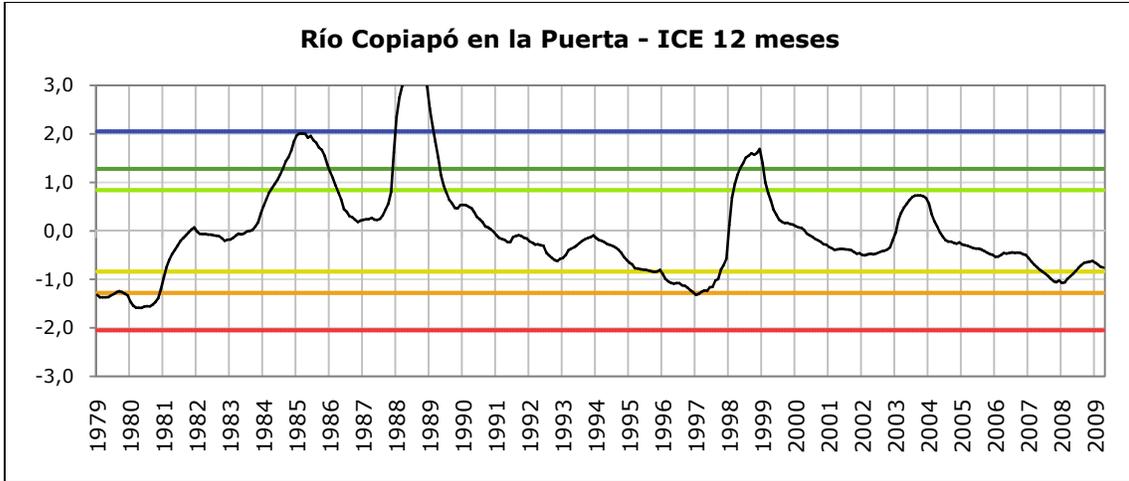
En cada una de ellas se han calculado las series mensuales de 30 años de los valores de ICE para 1, 3, 6 y 12 meses, y calificado en cada mes de acuerdo al valor del indicador. Los gráficos muestran las series de ICE para cada escala de tiempo y cada una de las estaciones.

Este indicador, al igual que los caudales, muestra una gran persistencia para todas las escalas de tiempo, reflejo de la mayor autocorrelación que tienen las series de caudales mensuales en las cuales se basa. Es así como las series presentan una forma muy similar a distintas escalas, la que se va suavizando a medida que aumenta la escala temporal. En este sentido las series de menor escala temporal son un buen anticipo del comportamiento de las escalas más largas.

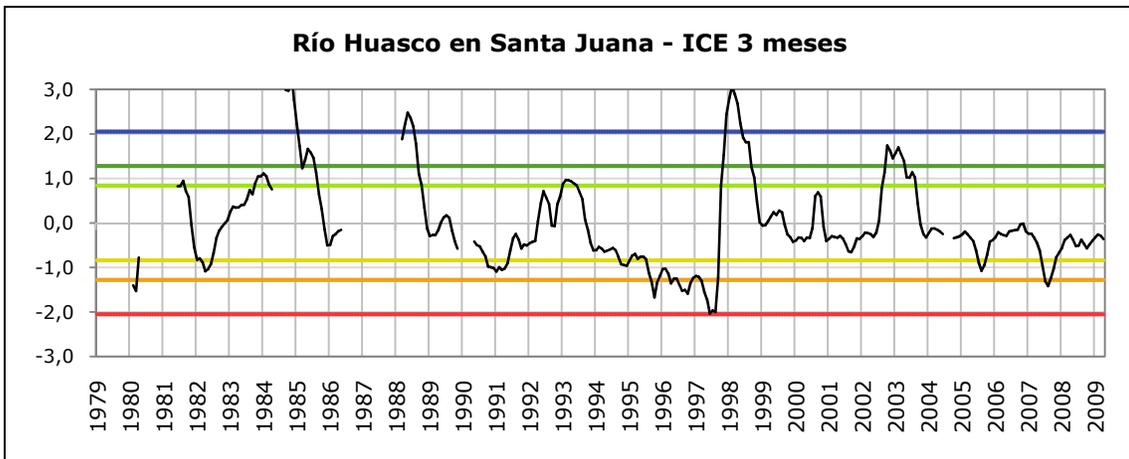
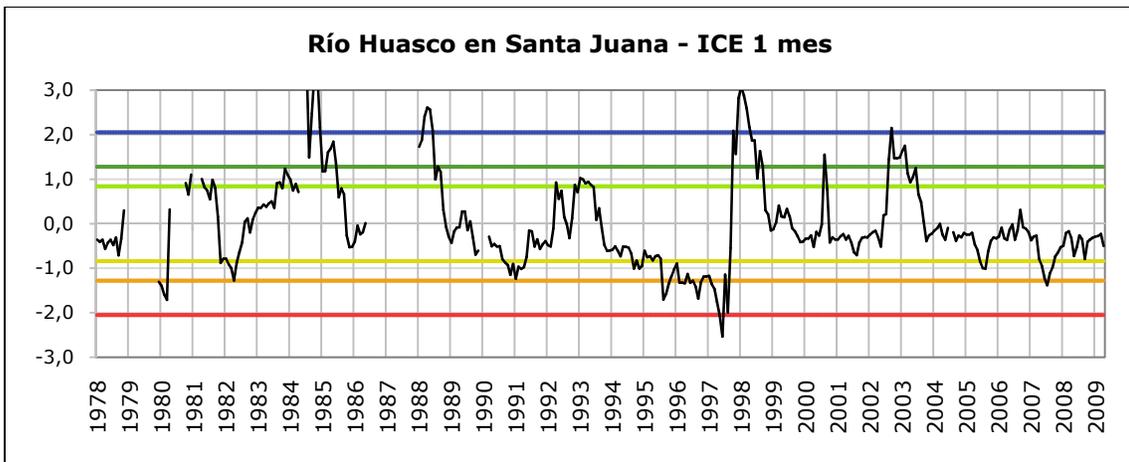
Estación Río Copiapó



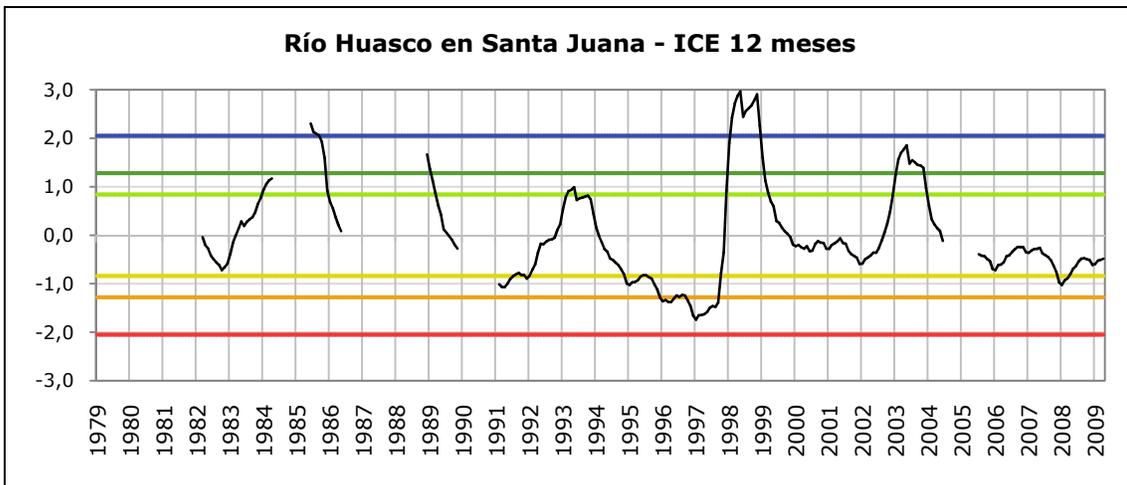
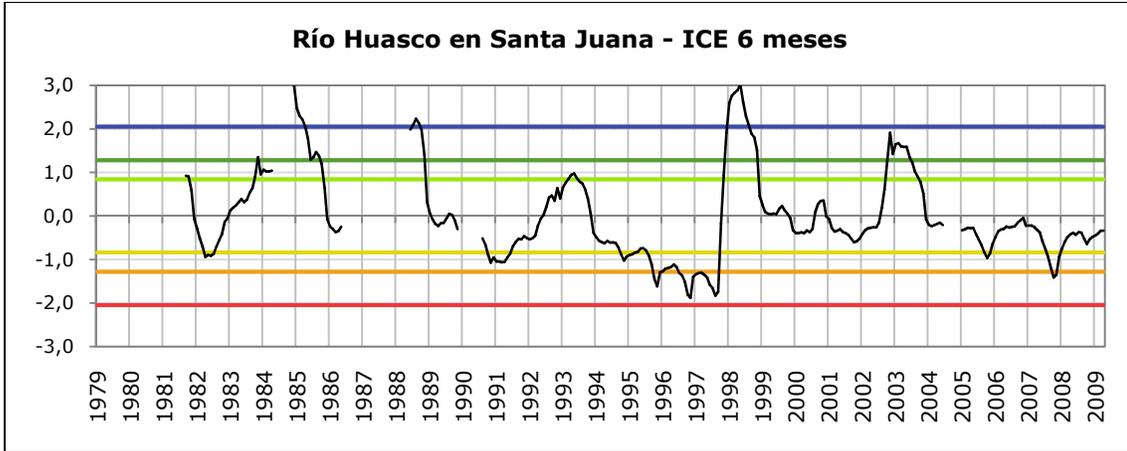
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



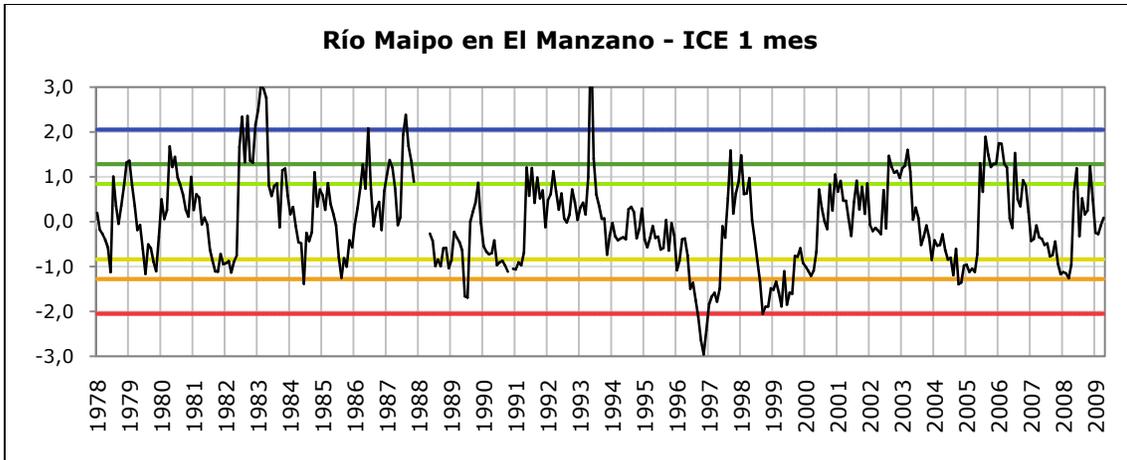
Estación Río Huasco en Santa Juana



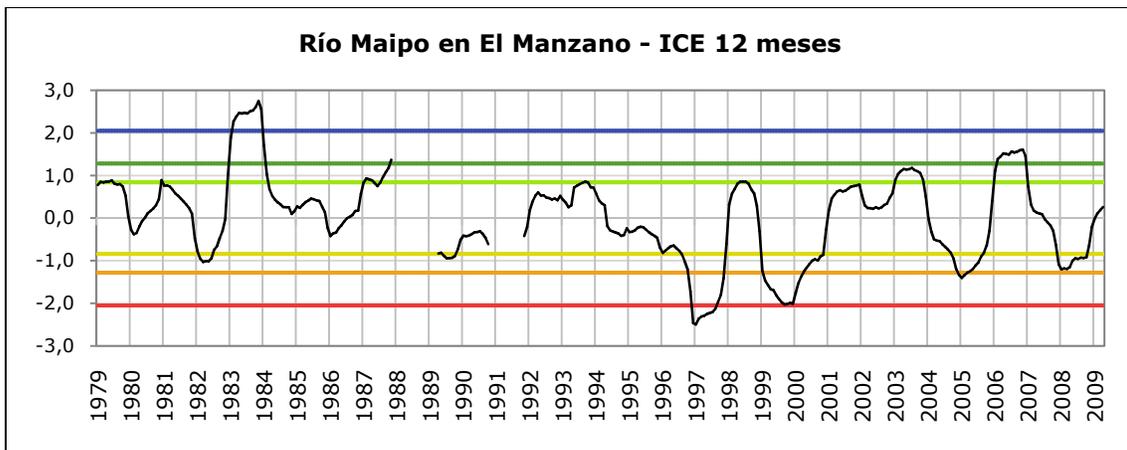
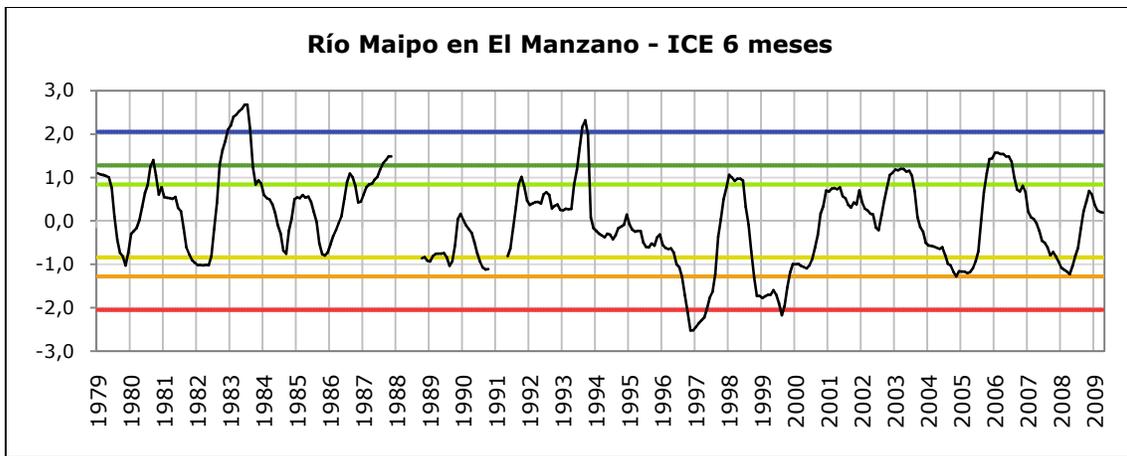
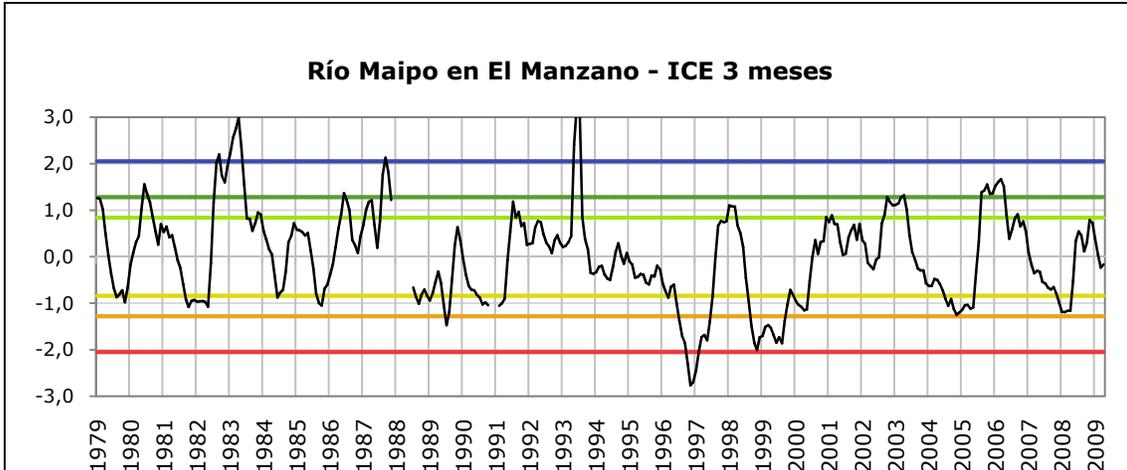
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



Estación Río Maipo en El Manzano

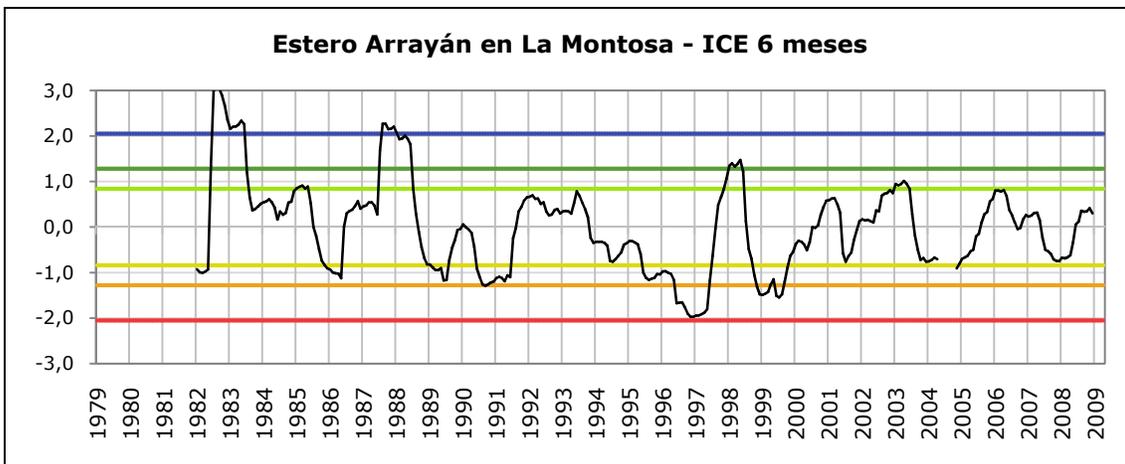
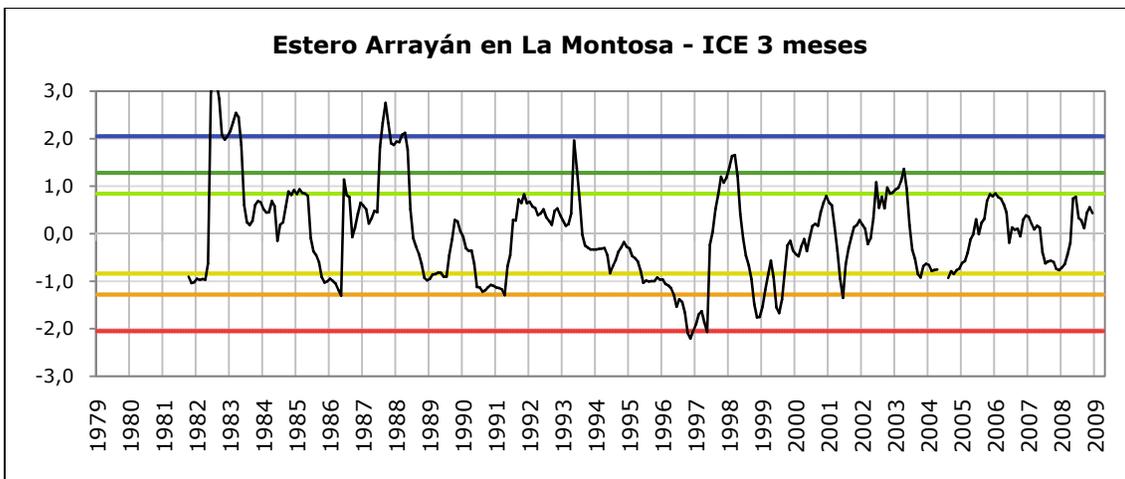
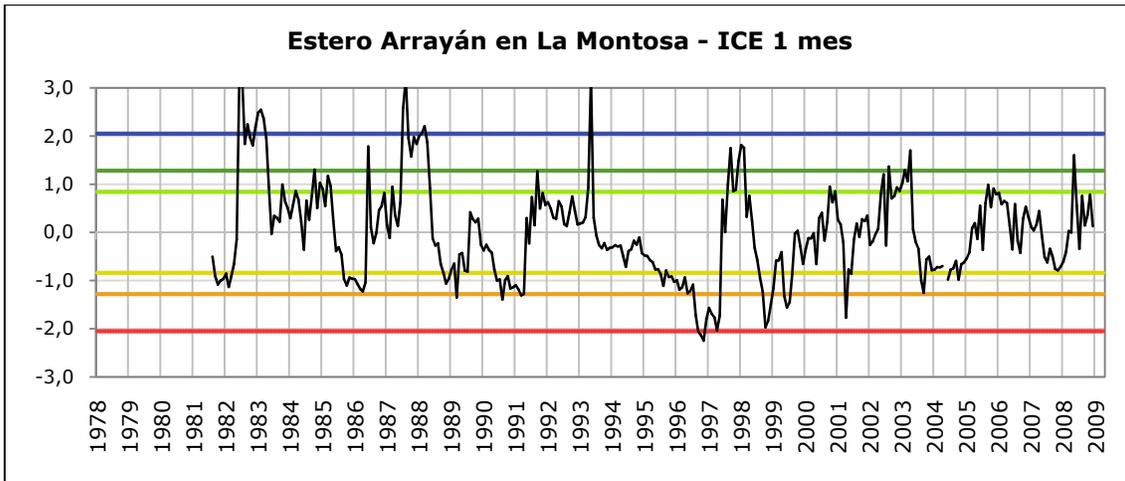


2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —

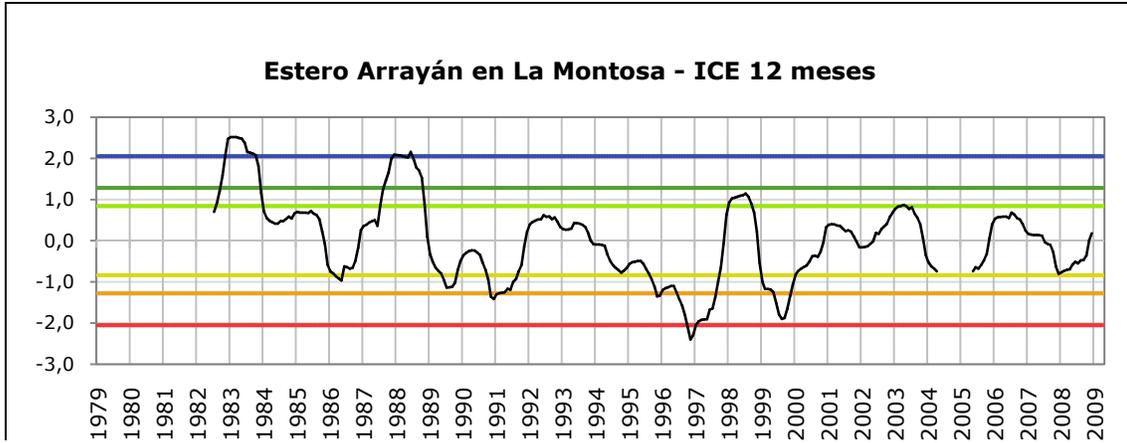


2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —

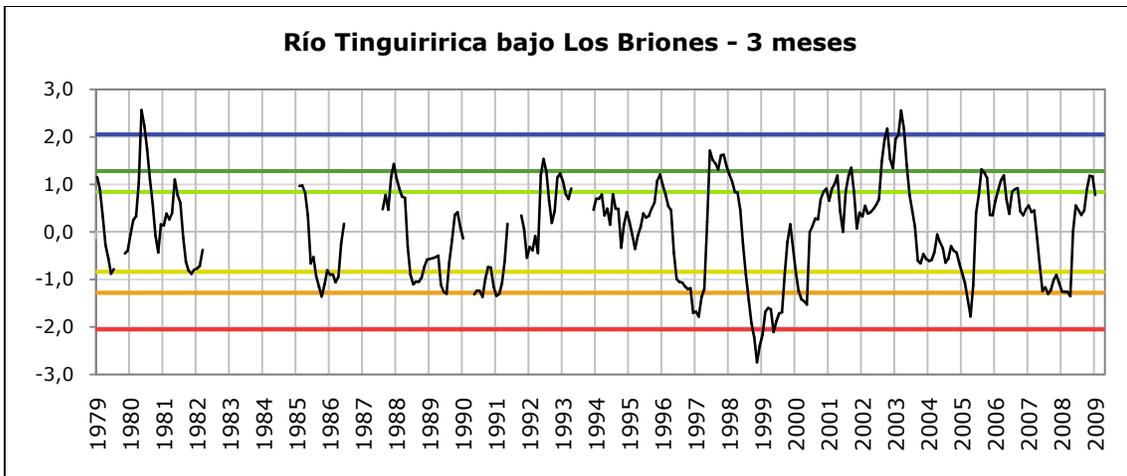
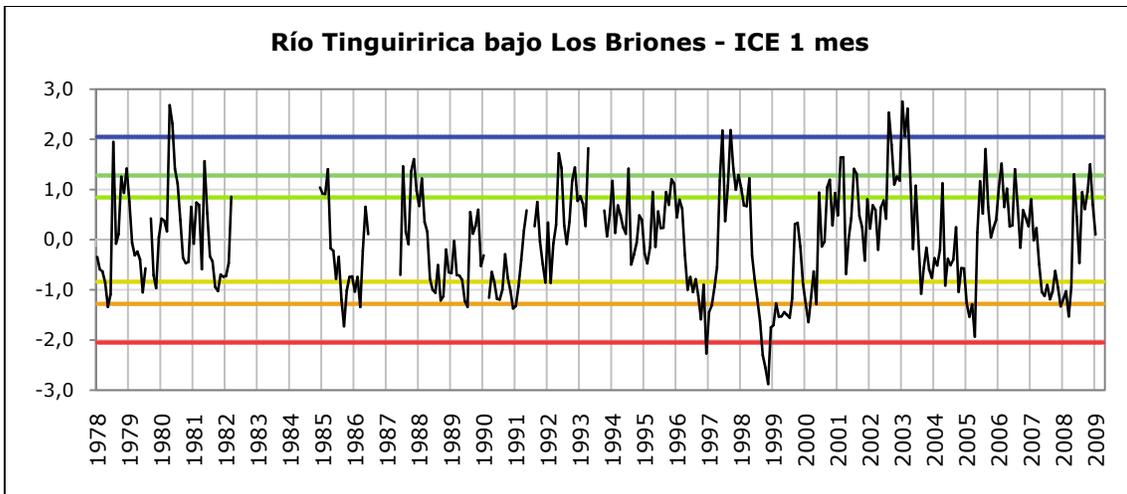
Estación Estero Arrayán en La Montosa



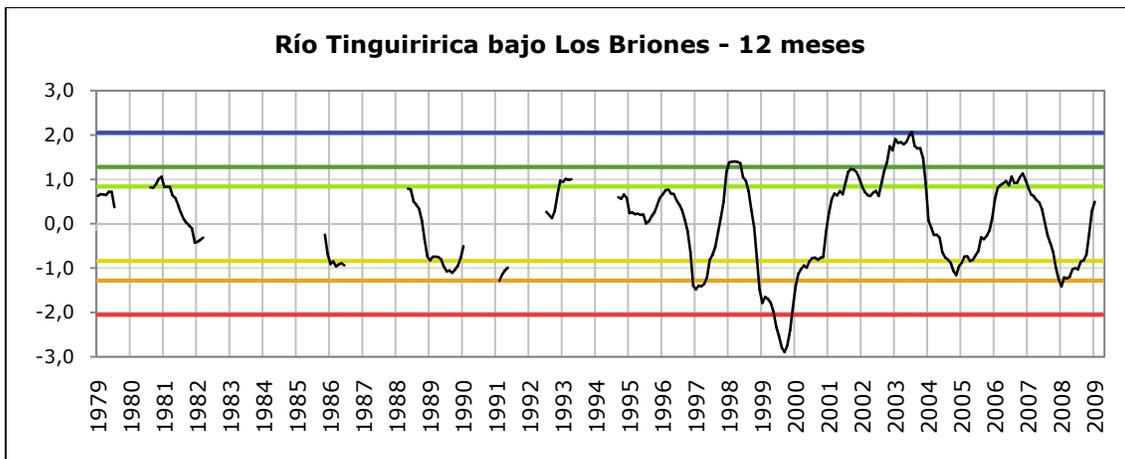
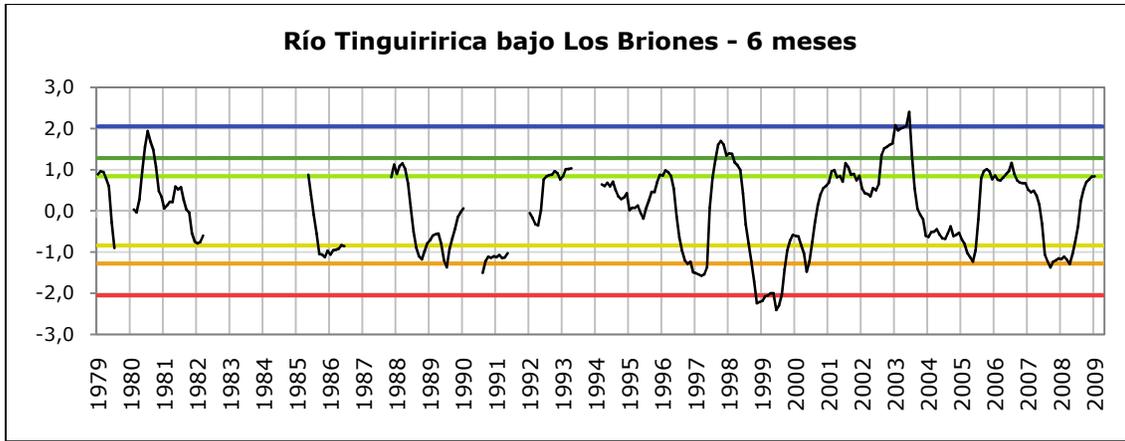
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



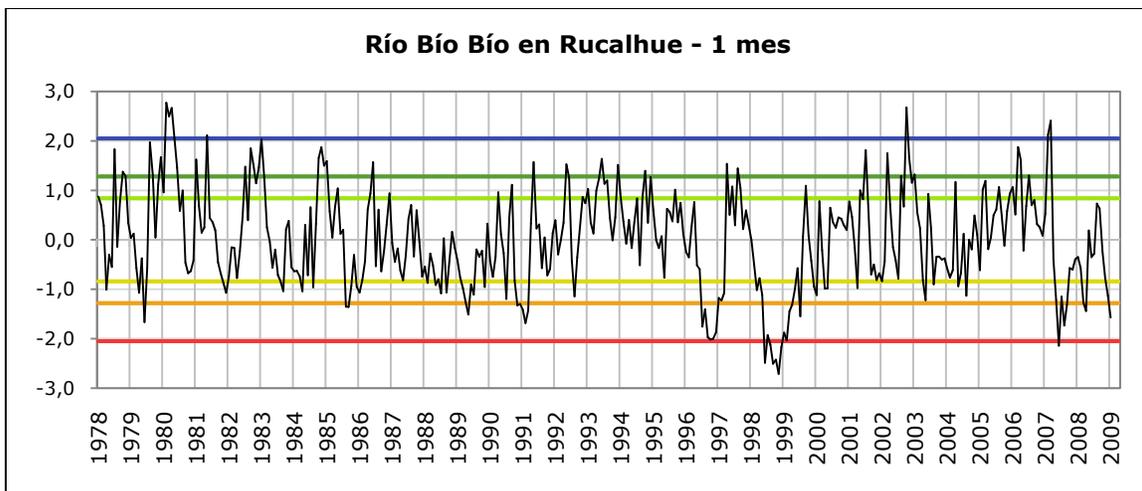
Estación Río Tinguiririca bajo Los Briones



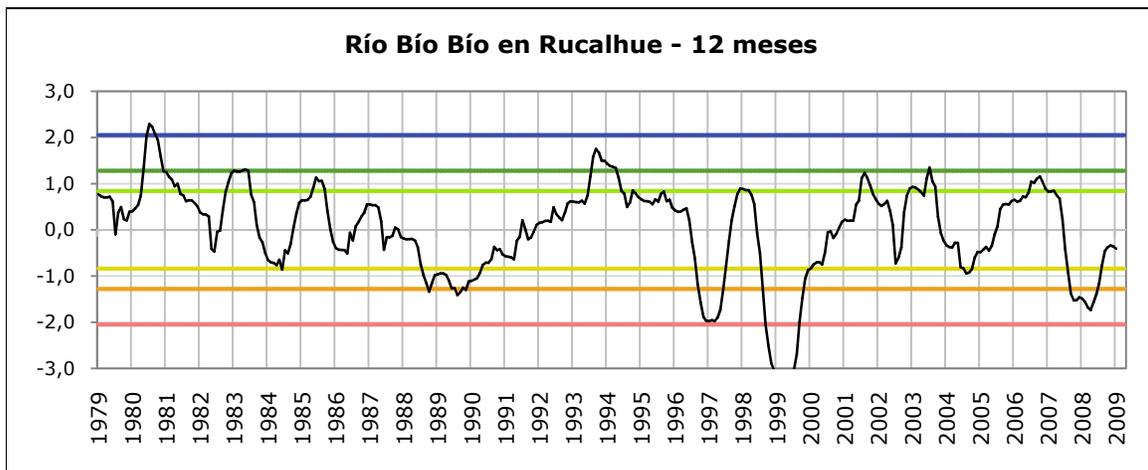
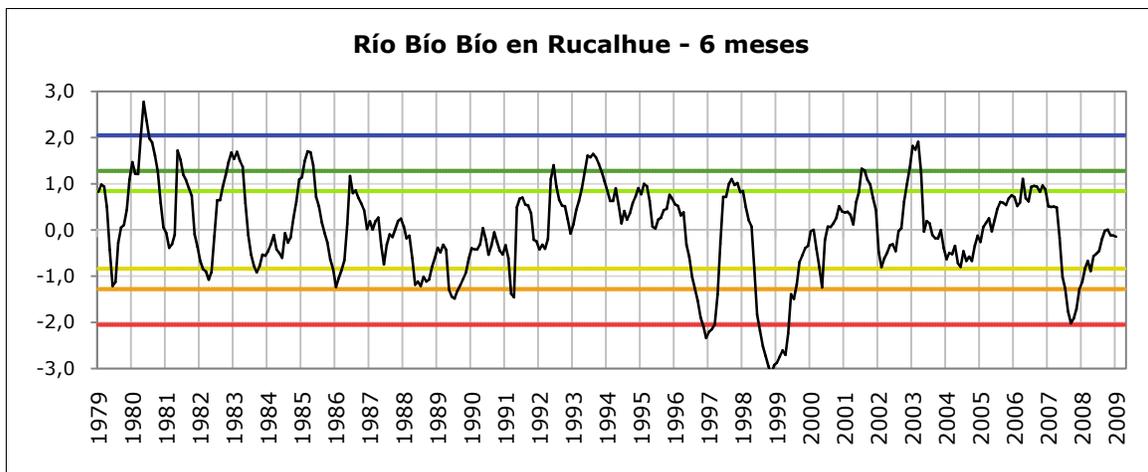
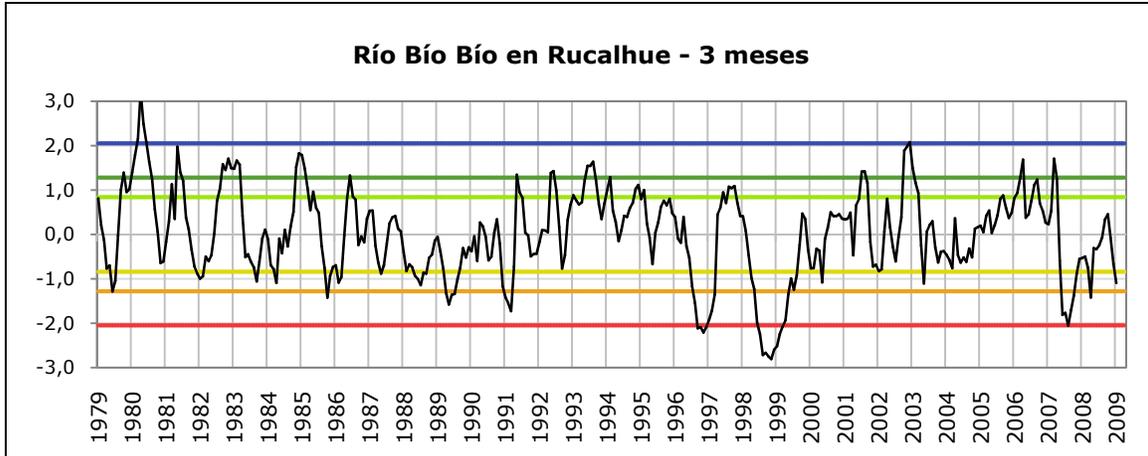
2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



Estación Río Bío Bío en Rucalhue



2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —



2.05 — 1.28 — 0.84 — -0.84 — -1.28 — -2.05 —

En Copiapó en la Puerta las series de todas las escalas tienen un comportamiento similar, presentado grandes ciclos con prolongados periodos de abundancia y escasez. En todas ellas se observan sequías en los años 1979-80, 1996-97 y 2008-09. Las series son más estables en la medida en que aumenta la escala de tiempo, pero la serie de 3 meses ya tiene estabilidad suficiente para ser empleada como un buen indicador de condiciones de sequías. La serie de Huasco tiene un comportamiento similar. En ambas no se alcanzan sequías extremas para escalas de tiempo superiores a 3 meses.

En las series de la zona mediterránea y húmeda la condición más desfavorable se observa relacionada con la sequía de 1999. Las sequías hidrológicas son menos en cantidad que las meteorológicas pero de mayor duración.

A continuación se presenta un cuadro resumen para cada estación y la serie de tiempo calculada, mostrando la cantidad de veces que los datos de caudal se encuentran en un rango determinado.

Tabla 35: Cuadro resumen para caudales en rangos secos, muy secos y extremadamente secos. Se indican los meses en cada estado y las veces que la serie entra en uno de ellos.

ICE	Serie Tiempo	Extremadamente Seco		Muy Seco		Seco	
		Meses	Veces	Meses	Veces	Meses	Veces
Río Copiapó en La Puerta	1 Mes	0	0	18	4	47	5
	3 Meses	0	0	19	3	38	6
	6 Meses	0	0	20	2	42	4
	12 Meses	0	0	22	2	36	3
Río Huasco en Santa Juana	1 Mes	2	1	19	4	32	7
	3 Meses	1	1	19	4	33	7
	6 Meses	0	0	20	3	32	6
	12 Meses	0	0	18	2	25	4
Río Maipo en El Manzano	1 Mes	5	1	24	6	51	17
	3 Meses	4	1	22	3	52	11
	6 Meses	8	2	17	4	46	8
	12 Meses	9	1	22	3	40	6
Estero Arrayán en La Montosa	1 Mes	3	1	17	8	48	11
	3 Meses	4	1	19	5	51	9
	6 Meses	0	1	21	4	48	6
	12 Meses	4	1	21	3	31	5

ICE	Serie Tiempo	Extremadamente Seco		Muy Seco		Seco	
		Meses	Veces	Meses	Veces	Meses	Veces
Río Tinguiririca bajo Los Briones	1 Mes	4	2	24	10	47	17
	3 Meses	5	2	25	9	44	12
	6 Meses	6	2	18	6	45	9
	12 Meses	6	1	15	4	35	6
Río Bío Bío en Rucalhue	1 Mes	7	3	25	10	41	26
	3 Meses	14	3	21	7	27	15
	6 Meses	15	3	18	5	28	10
	12 Meses	11	1	27	5	26	6

#### 7.4 Presentación y evaluación de indicadores

Los indicadores propuestos tienen por objeto identificar los periodos de escasez en la oferta de recursos hídricos en todo el territorio nacional. Por una parte los vinculados a sequías meteorológicas permiten un seguimiento del comportamiento de las precipitaciones que apunta a las causas iniciales de las sequías y por lo tanto tienen la ventaja de anticipar el futuro comportamiento de recursos hídricos superficiales. Los vinculados a sequías hidrológicas están relacionados a los recursos hídricos en los cauces y son los directamente utilizados por los sistemas de aprovechamiento; por lo tanto se orientan actividades tales como la gestión de sequías, intervenciones directas, etc. Además en cada caso se pueden considerar indicadores vinculados a distintas escalas temporales, considerando el último mes, los tres, los seis y los doce últimos meses. Las diferentes escalas temporales dan libertad para identificar situaciones vinculadas a usos inmediatos, seguir las tendencias o confirmar la persistencia de sequías. Finalmente cada uno de estos indicadores a escala temporal puede asociarse a diferentes escalas espaciales, de tal manera que se genera una matriz de información sobre el comportamiento de sequías.

##### 7.4.1 Presentación y evaluación del IPE para sequías meteorológicas

Para cada una de las estaciones que forman la base de datos se calcula el valor del IPE de la estación  $k$ , en el mes  $t$  y el año  $n$  a una escala temporal de  $j$  meses:

$IPE_{t,n}^{k,j}$  donde  $t= 1,2,\dots,12$  meses;  $n=1, 2, \dots, N$  años;  $k= 1, 2, \dots,K$  estaciones;  $j= 1,3,6,12$  últimos meses. Con este indicador se pueden estimar valores medios espaciales utilizando técnicas de interpolación espacial para presentar la información gráficamente como curvas de nivel en todo el territorio sin referencia a límites, y estimar los valores medios para áreas arbitrarias como las divisiones político administrativas del país. Las figuras siguientes muestran el comportamiento espacial de los indicadores IPE para escalas de 1, 3, 6 y 12 meses en la zona central, de la IV a la X regiones, considerando la situación de septiembre de 2007.

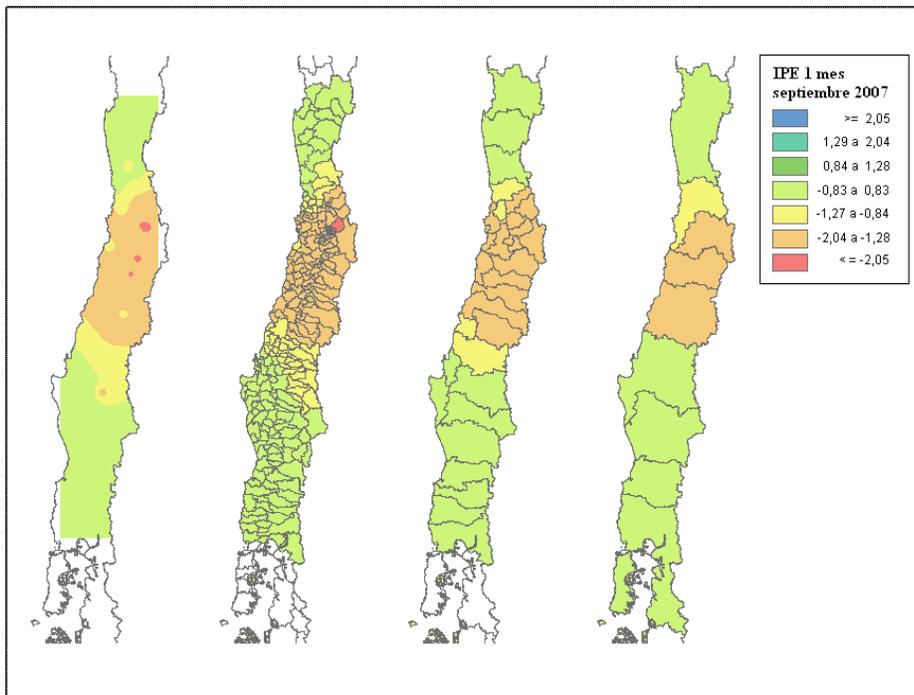


Figura 34: Cálculo de IPE de un mes durante septiembre de 2007.

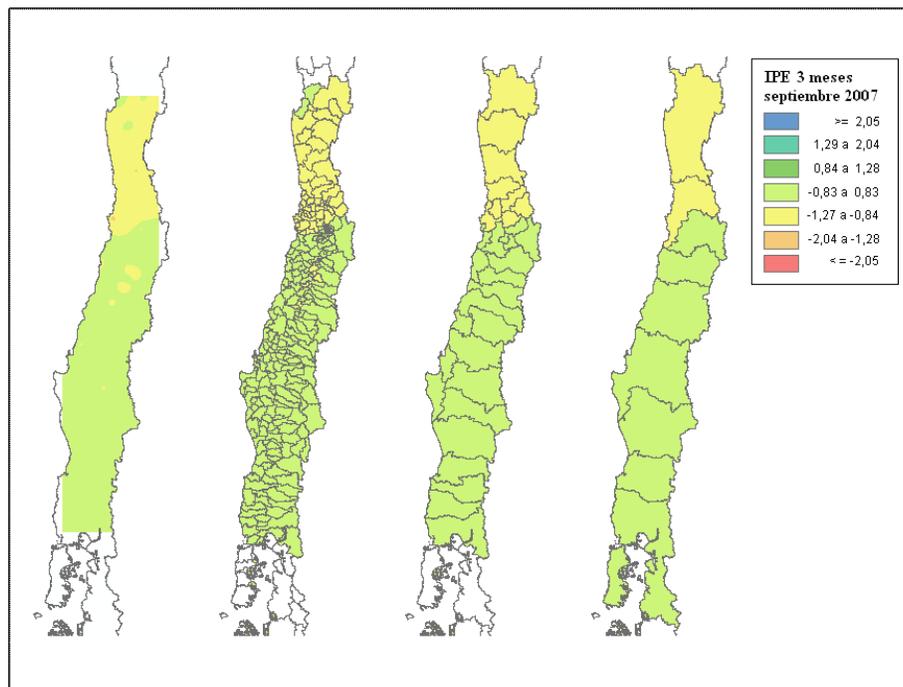


Figura 35: Cálculo de IPE de 3 meses durante septiembre de 2007.

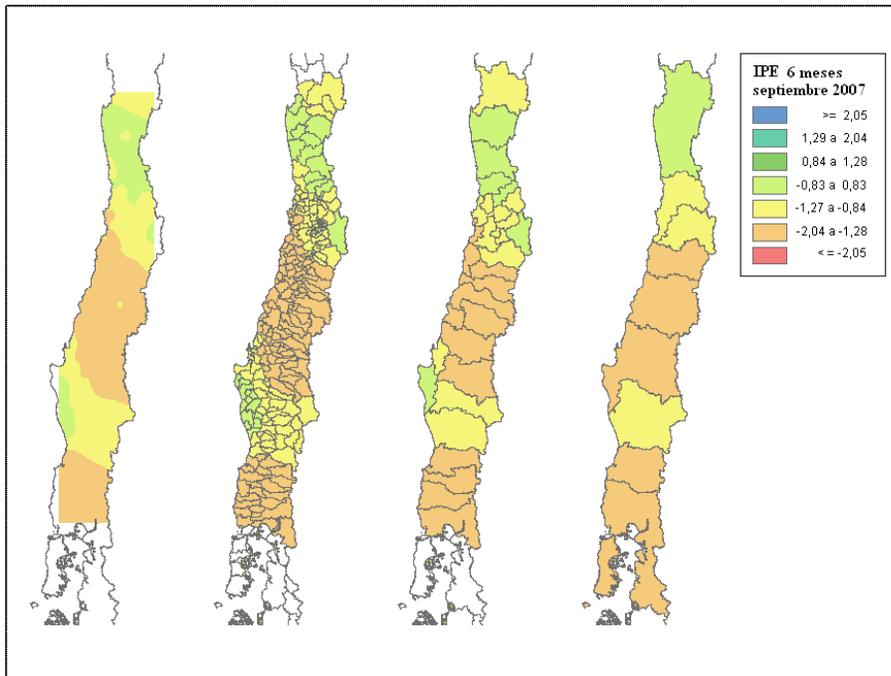


Figura 36: Cálculo de IPE de 6 meses durante septiembre de 2007.

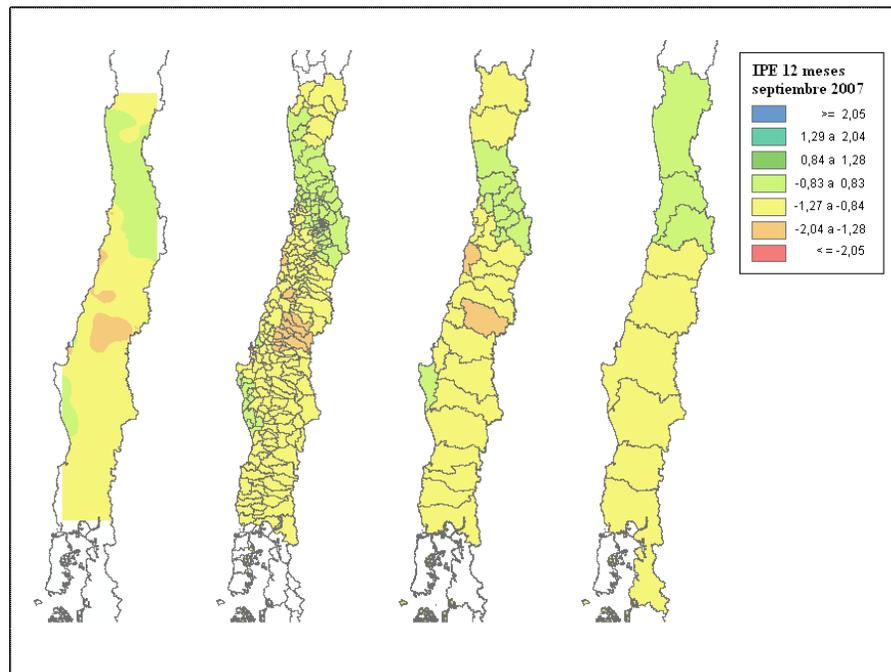


Figura 37: Cálculo de IPE de 12 meses durante septiembre de 2007.

En cada figura se muestra una interpolación libre de los indicadores en base a los registros de cada una de las estaciones disponibles, empleando un método ponderado con el inverso de la distancia. Con este proceso lo que se busca no es interpolar la magnitud de la precipitación si no el comportamiento de ésta. Se considera que esta variación es mucho más gradual y no es significativamente sensible al relieve. En las figuras siguientes se muestran estimaciones de IPE para las comunas, provincias y regiones respectivamente, de manera que al interior de cada una de ellas se estima el valor medio espacial del indicador y se califica de acuerdo a los valores empleados para considerar las diferentes situaciones de sequías.

Escala espacial			
País	Regiones	Provincias	Comunas
En base a valores puntuales registrados se establece una condición del IPE en base a curvas de nivel de igual valor. Interpolación independiente de límites o fronteras arbitrarias.	Valores medios por región, estimado en base a la información puntual y la distribución espacial. Puede considerar la zona más amplia de interés administrativo.	Valores medios promedios por provincia, como una zona de valor intermedio para fines administrativos.	Valores medios espaciales por comuna en base a los valores puntuales y la distribución espacial. Puede considerar la zona de menor tamaño de interés administrativo.
Escala temporal			
1 mes	3 meses	6 meses	12 meses
Permite apreciar la tendencia más reciente.	Visualiza la tendencia de los últimos meses para verificar la situación actual.	Confirma una situación de impacto importante en los usuarios con efectos relevantes.	Da información sobre la condición de largo plazo.

#### 7.4.2 Presentación y evaluación del ICE para sequías hidrológicas

Para cada una de las estaciones que forman la base de datos se calcula el valor del ICE de la estación  $k$ , en el mes  $t$  y el año  $n$  a una escala temporal de  $j$  meses:

$ICE_{t,n}^{k,j}$  donde  $t= 1,2,\dots,12$  meses;  $n=1, 2, \dots, N$  años;  $k= 1, 2, \dots,K$  estaciones;  $j= 1,3,6,12$  últimos meses. El valor asociado a cada subcuenca depende de las estaciones consideradas en cada una de ellas. Estos valores no se pueden interpolar espacialmente ya que no representan valores puntuales, como el caso de precipitaciones, sino que están asociados a una subcuenca. Con este indicador se pueden estimar valores medios espaciales utilizando técnicas de interpolación espacial para presentar la información gráficamente como curvas de nivel en todo el territorio sin referencia a límites, y estimar los valores medios para áreas arbitrarias como las divisiones político administrativas del país.

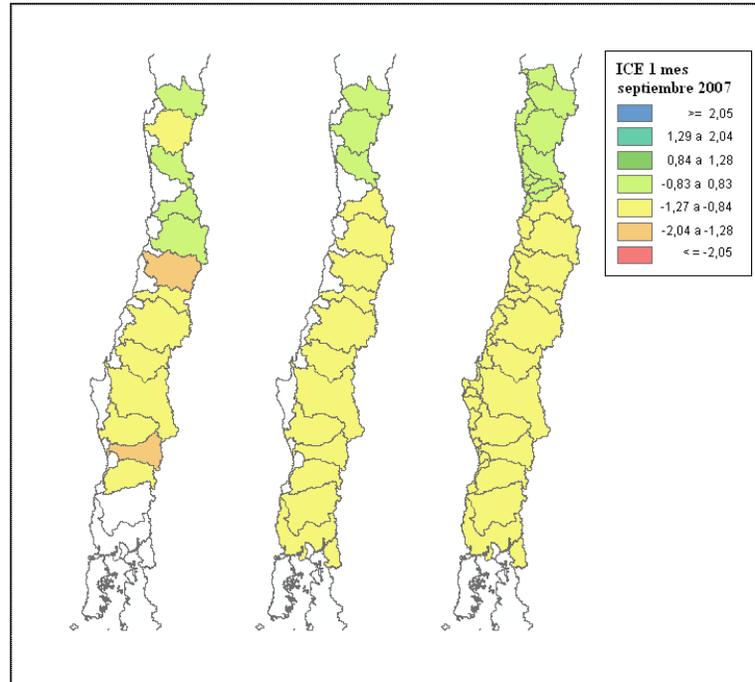


Figura 38: Cálculo de ICE de un mes durante septiembre de 2007.

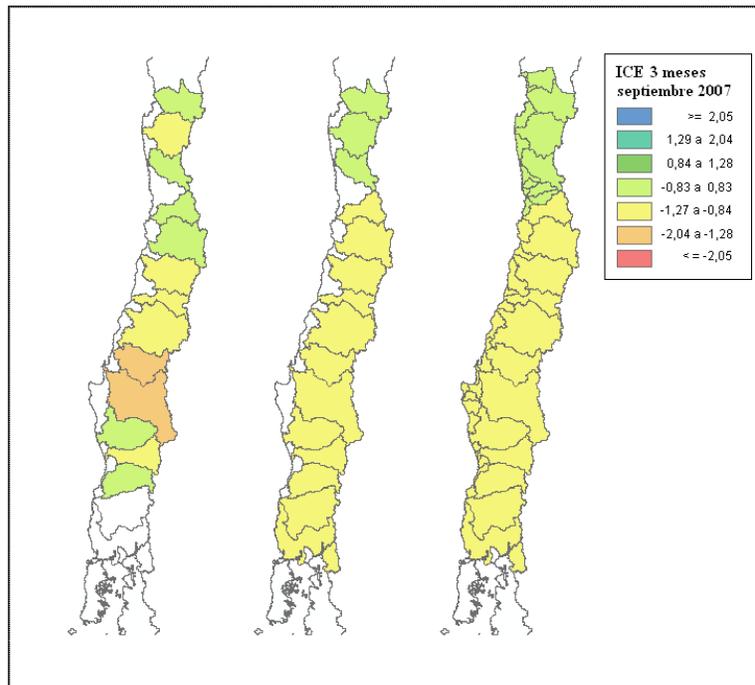


Figura 39: Cálculo de ICE de tres meses durante septiembre de 2007.

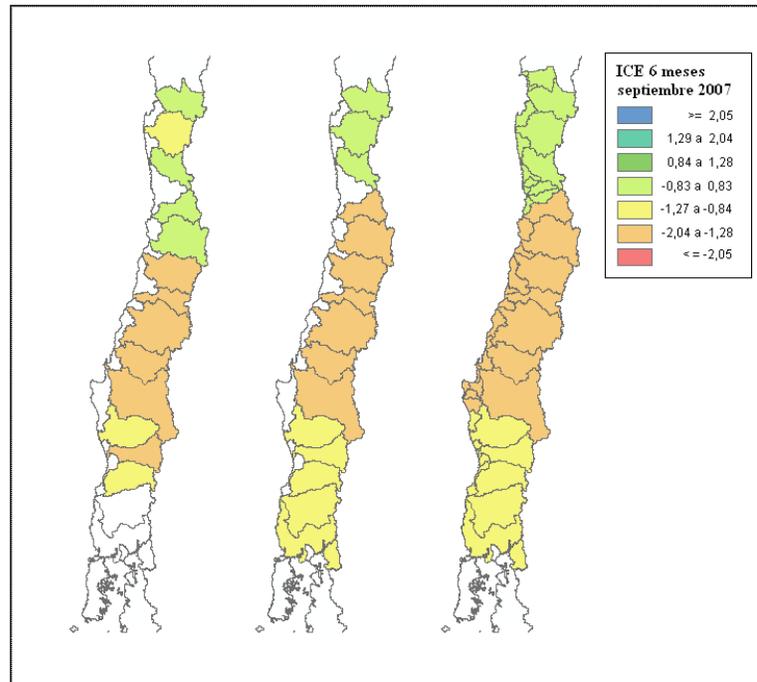


Figura 40: Cálculo de ICE de seis meses durante septiembre de 2007.

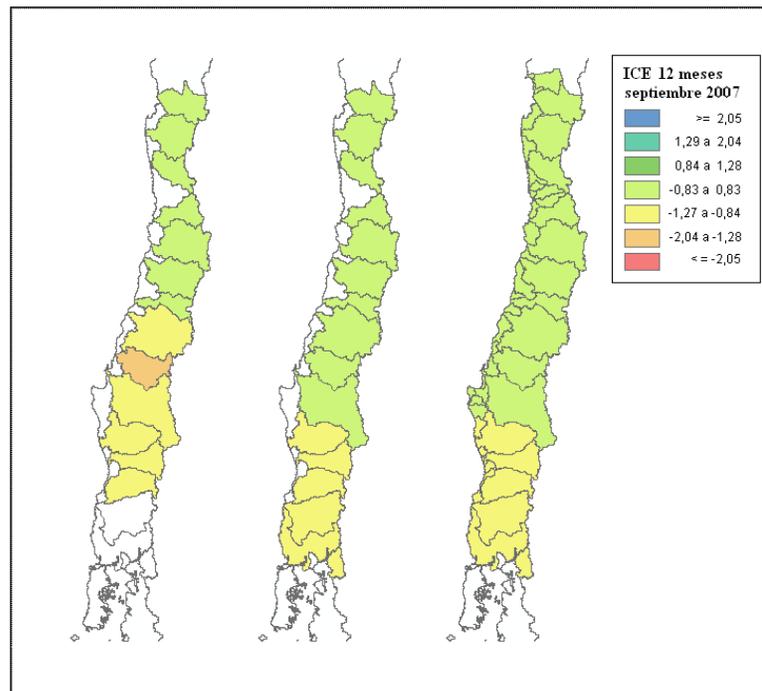


Figura 41: Cálculo de ICE de doce meses durante septiembre de 2007.

Escala espacial			
Zonas climáticas	Macro cuencas	Cuencas	Sub cuencas
<p>Para las zonas más amplias consideradas. Estimado como un promedio ponderado por el área de cada macro cuenca con información.</p> <p>Considerar para información sobre el comportamiento regional. No emplear para intervención específica.</p>	<p>Para el conjunto de cuencas un valor promedio estimado, considerando una ponderación por áreas de cada una de las cuencas que forman el conjunto.</p> <p>Considerar para información sobre el comportamiento regional. No emplear para intervención específica.</p>	<p>Para las cuencas que disponen de información, y estimado mediante una ponderación de cada indicador según las áreas ponderadas de las sub cuencas.</p> <p>Considerar para intervención de cuencas completas.</p>	<p>En base a las sub cuencas que disponen de información hidrológica. Representa la condición local de cada sub cuenca.</p> <p>Considerar para intervención en condiciones de sequías.</p>

Escala temporal			
1 mes	3 meses	6 meses	12 meses
<p>Para mantener al día el sistema de información y conocer la tendencia más reciente, de manera de estimar si la situación mejora o empeora. No debiera emplearse para adoptar decisiones de sequía ya que es poco representativo de lo ocurrido en el pasado.</p>	<p>Permite conocer la tendencia de recursos acumulados significativos. Puede ser un buen indicio de los efectos futuros sobre todo en cuencas grandes en las cuales la dependencia es importante y entonces sirve como un pronóstico de condiciones futuras. Prepara el sistema para una vigilancia más cercana y adoptar medidas.</p>	<p>Representa de muy buena manera las condiciones de disponibilidad de recursos en la cuenca. Puede servir para declarar condiciones de sequía incluso incipiente. Permite la aplicación del decreto de declaración de sequía en la cuenca.</p>	<p>Entrega información sobre la situación de largo plazo para la mayoría de los usos. Puede servir para declarar condiciones de escasez si no ha sido hecho por otros indicadores. Permite visualizar la recuperación del sistema después de haber ocurrido una sequía.</p>

## 7.5 Evaluación del comportamiento de los indicadores

Los indicadores propuestos para identificar condiciones de sequías en Chile significan un cambio en relación a lo dispuesto en la Resolución 39 de 1984 vigente hoy en día. Con el objeto de revisar los efectos y calibrar los valores frente a situaciones concretas en este capítulo se revisa y compara el comportamiento de los indicadores basados en condiciones estandarizadas de precipitación y caudales, IPE e ICE respectivamente, frente a condiciones de ENSO, a la aplicación a la historia reciente con la Resolución de 1984, y finalmente en relación a las condiciones climáticas y geográficas de Chile.

### 7.5.1 Efectos ENOS

En la presente sección se estudia el efecto ENOS - fenómenos de El Niño Oscilación del Sur - en el comportamiento de las sequías, bajo el alero de los indicadores IPE e ICE. Para tal propósito se realiza una comparación del comportamiento temporal y espacial de los valores de estos indicadores, y los valores estandarizados de la temperatura superficial del mar (SST, del inglés Sea Surface Temperature), registrados históricamente por el National Weather Center<sup>41</sup>. Éste índice se utiliza para identificar los fenómenos de El Niño y La Niña, de manera tal que extremos negativos de desviaciones respecto al promedio de SST, corresponden al fenómeno de La Niña, y valores extremos de SST mayores a cero, corresponden al fenómeno de El Niño. En particular se utilizó el valor SST 3.4 definido para la región geográfica ubicada entre la latitud 5°N y 5°S y longitud 170°O y 120°O. En general existe evidencia que las sequías en la zona central de Chile están vinculadas a la ocurrencia de La Niña, mientras que las precipitaciones intensas se relacionan con la ocurrencia de El Niño. Por lo tanto, y al igual que con el IPE y el ICE, valores positivos y negativos de SST implican abundancia y escasez de recursos respectivamente.

Uno de los aspectos interesantes de esta comparación es que ambos indicadores, SST e IPE, corresponden a valores estandarizados y normalizados, de promedio 0 y desviación típica 1, de manera que el rango en el cuales se mueven es el mismo y los extremos también pueden identificarse vinculados similares probabilidades. Esto permite observar el comportamiento histórico de ambos fenómenos, La Niña y las sequías en el lado negativo de la serie, y El Niño o sobreabundancia en el lado positivo. Lo que interesa es apreciar la ocurrencia relacionada de estos fenómenos en el tiempo. Similarmente ocurre en las comparaciones entre SST e ICE para el caso de sequías hidrológicas.

- **Análisis del IPE en relación a la SST**

Las estaciones de Copiapó, San Felipe, Convento Viejo y Puerto Montt fueron consideradas en la comparación con el SST. En las figuras siguientes se muestran las series históricas de valores mensuales de SST y del indicador IPE de 3, 6 y 12 meses en las estaciones indicadas.

Estación Copiapó

---

<sup>41</sup> National Weather center. Climate prediction Center. Monthly Atmospheric and SST Indices. <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>

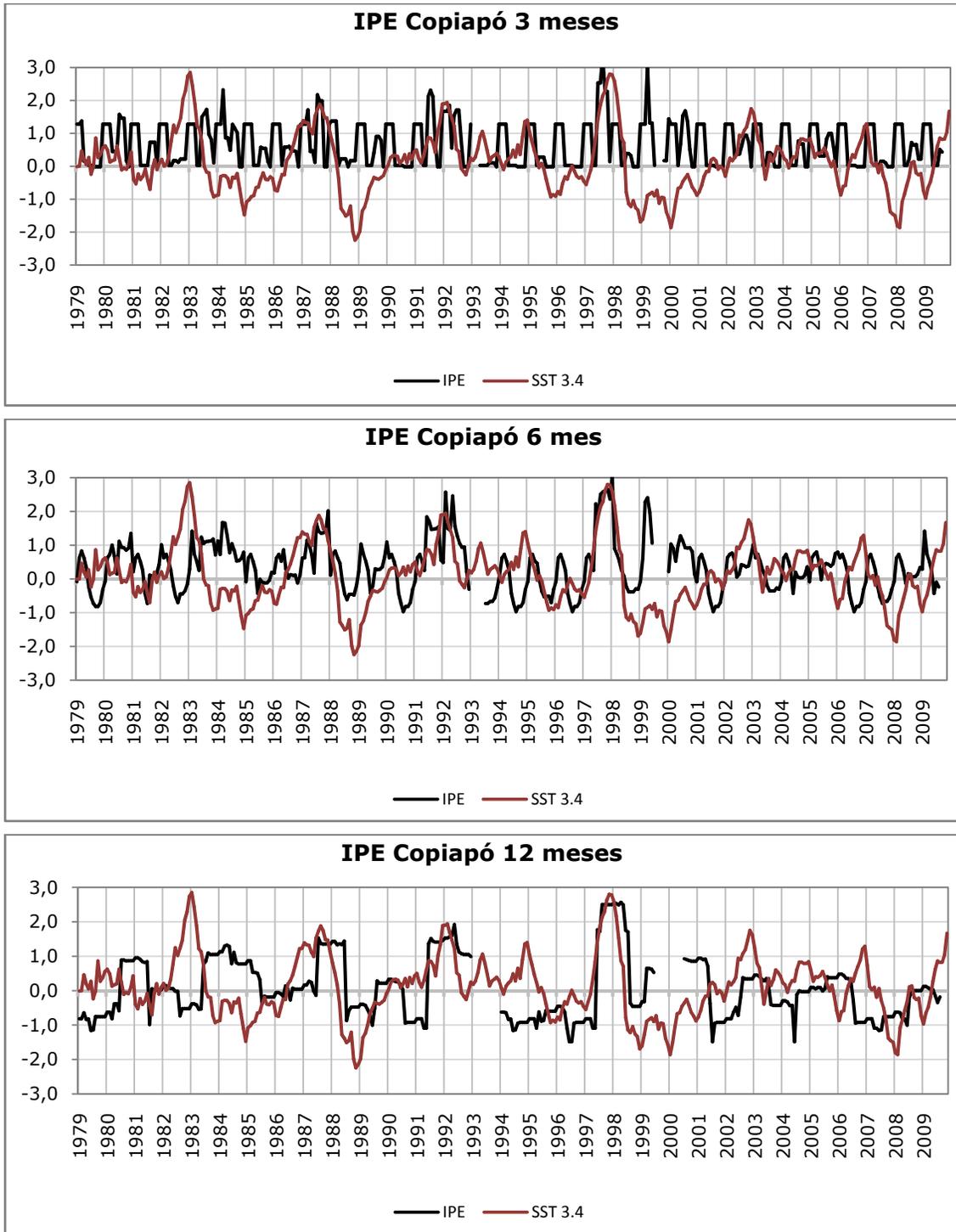


Figura 42: - Series históricas de SST e IPE de 3, 6 y 12 meses en Copiapó.

## Estación San Felipe

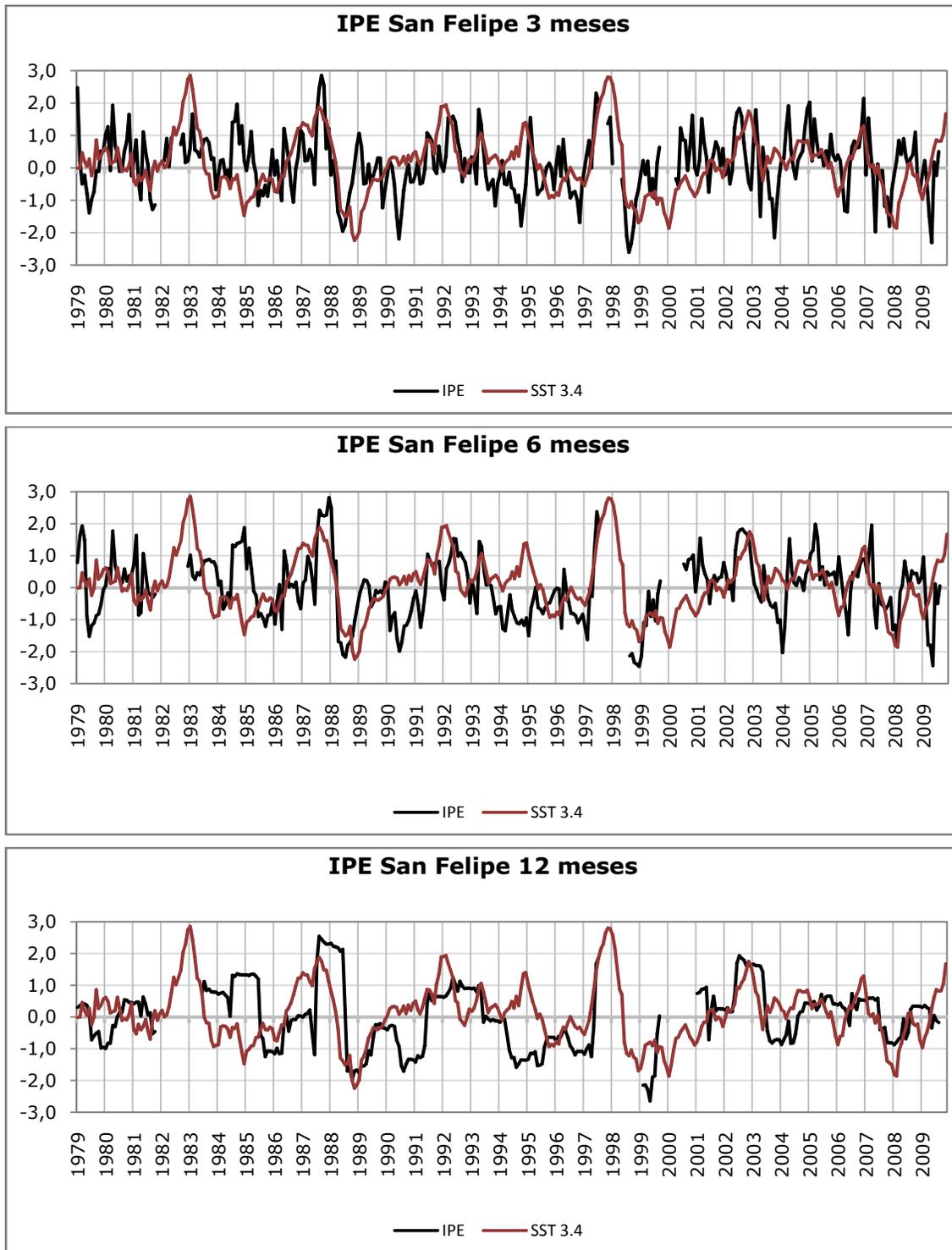


Figura 43: Series históricas de SST e IPE de 3, 6 y 12 meses en San Felipe.

## Estación Convento Viejo

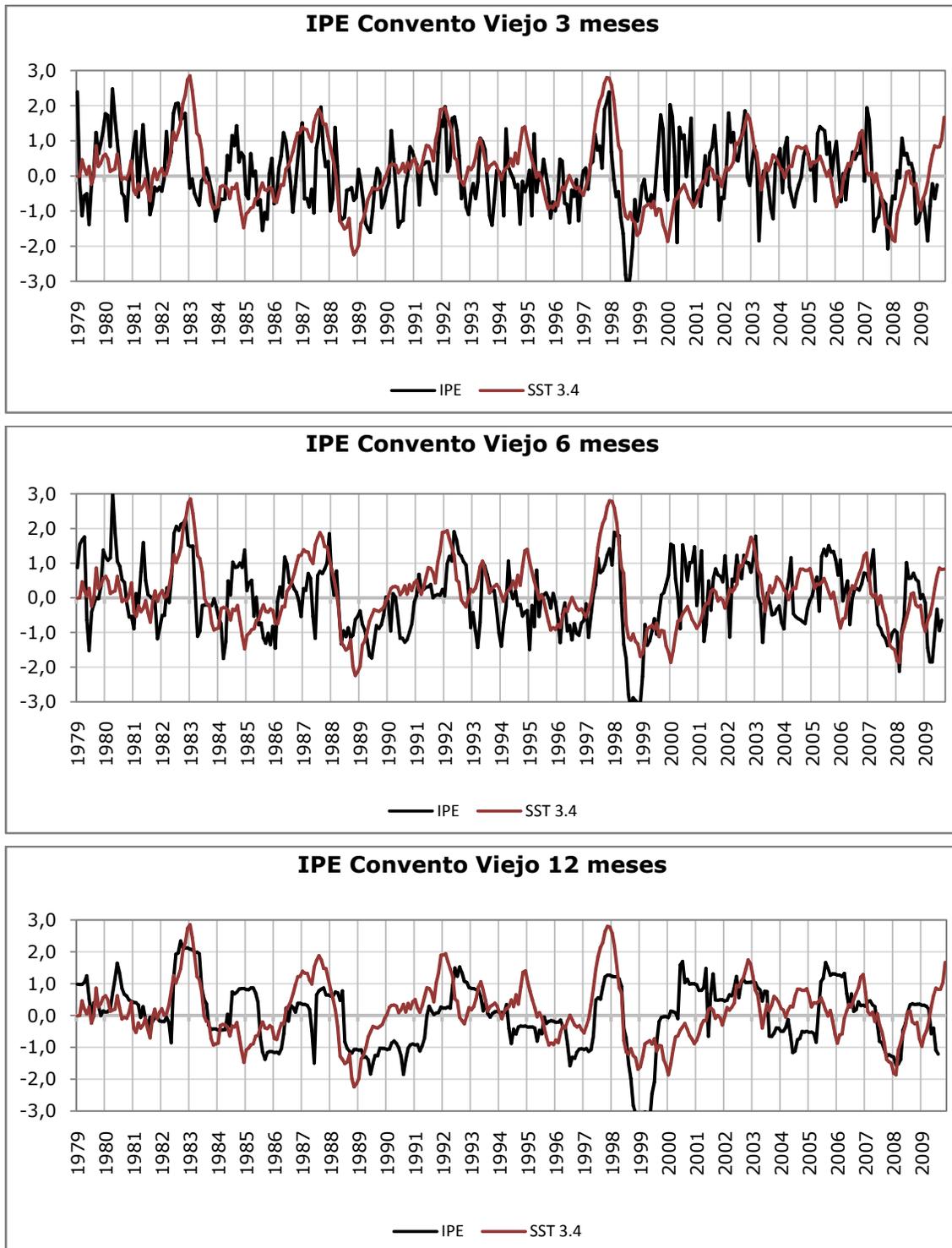


Figura 44: Series históricas de SST e IPE de 3, 6 y 12 meses en Convento Viejo

## Estación Puerto Montt

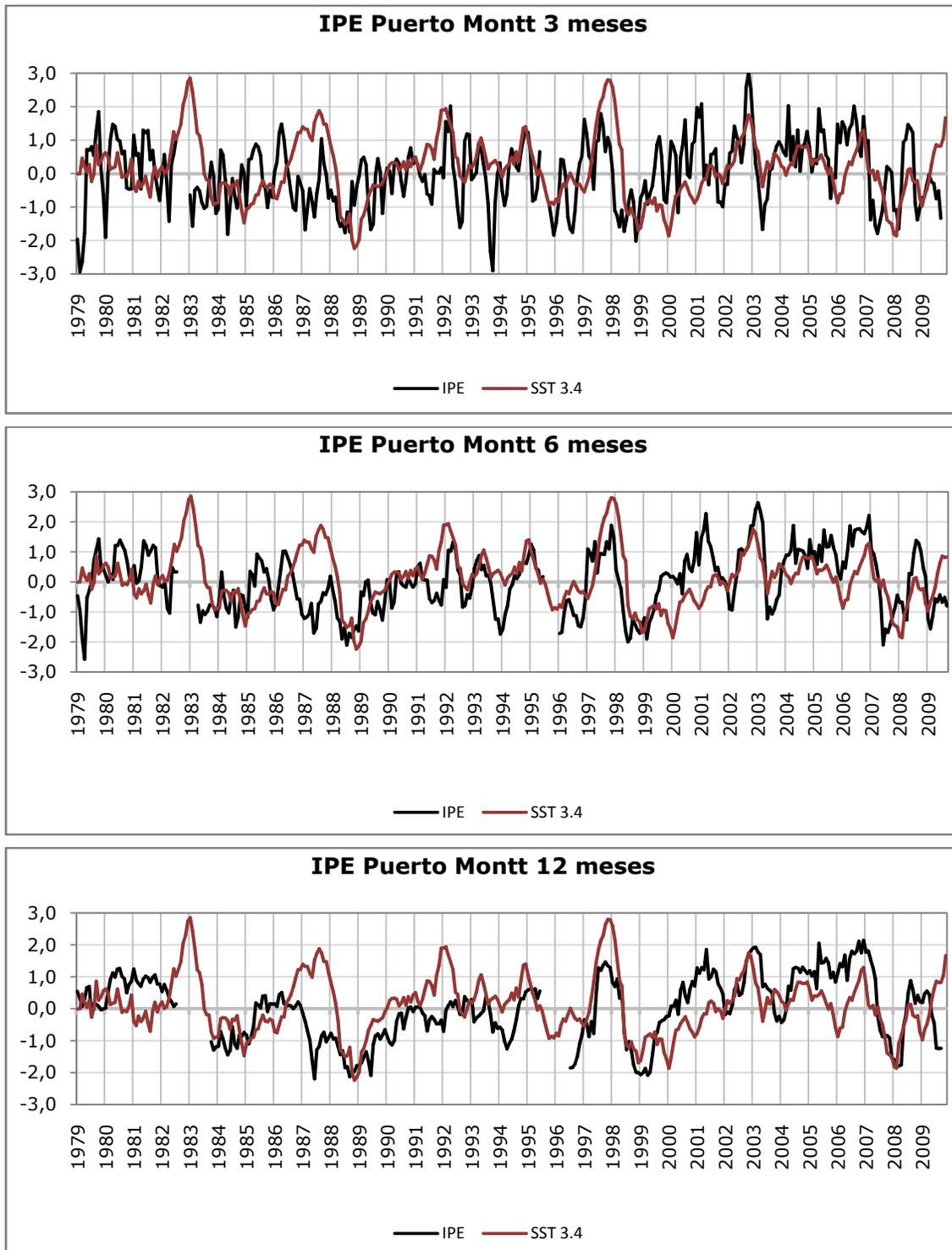


Figura 45: Series históricas de SST e IPE de 3, 6 y 12 meses en Puerto Montt.

Debe consignarse que mientras los valores de SST corresponden a los valores mensuales en todas las comparaciones, los de IPE son de 3, 6 y 12 meses. De las figuras anteriores se observa una diferencia en el comportamiento de las series del IPE y el SST estandarizado que depende de la zona climática. En el caso de zonas semiáridas, ambos indicadores no se ajustan perfectamente, por lo que hay una baja correlación simultánea, o contemporánea, entre las series. Para algunos meses se tiene incluso valores positivos de un indicador y negativos del otro. Sin embargo, en los climas mediterráneos y húmedos existentes hacia el sur, el comportamiento de los indicadores es más similar, y en general, para valores negativos del SST, se presentan condiciones de escasez en el IPE, mientras que para valores positivos se tienen condiciones normales a húmedas en el IPE.

Un análisis por zonas climáticas del gráfico de dispersión entre el IPE y el SST permite corroborar el comportamiento descrito anteriormente. En particular, se pueden construir los gráficos de dispersión de estos indicadores para todas las estaciones agrupadas en 3 zonas climáticas: zona semiárida, zona mediterránea y zona húmeda de acuerdo a la clasificación de Toledo y Zapater empleada en este estudio. En cada uno de estos gráficos se identifican diferentes sectores de correlación que muestran con mayor claridad la dependencia o independencia entre los indicadores (Figura 46). Estas zonas se definen a partir de valores del IPE y SST que diferencian las condiciones meteorológicas normales de las anormales (IPE = -0,84 y 0,84, SST = -1 y 1). Según esta clasificación los puntos (SST, IPE) definidos en los sectores C y G corresponden a meses donde hay una alta dependencia entre los indicadores para condiciones secas y húmedas, mientras que los punto en los sectores A e I corresponden a meses con alta independencia e incluso comportamiento contrario. El sector E por otra parte implica una caracterización de ambos índices propia de una condición meteorológica normal.

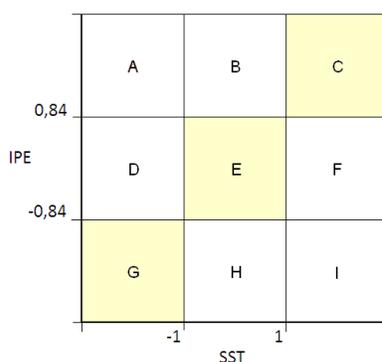


Figura 46: Rangos o zonas para análisis de gráficos de dispersión.

Las próximas figuras corresponden a los gráficos de dispersión para las tres macro-zonas climáticas, junto con la sectorización para la identificación del grado de independencia. Se incluyen los valores mensuales de todas las estaciones disponibles en cada zona climática. Los valores para cada estación corresponden a una única representación del formato de serie. Estos gráficos se construyeron para valores IPE 6 e IPE 12 dado que son estos indicadores los que caracterizan condiciones meteorológicas de duraciones significativas.

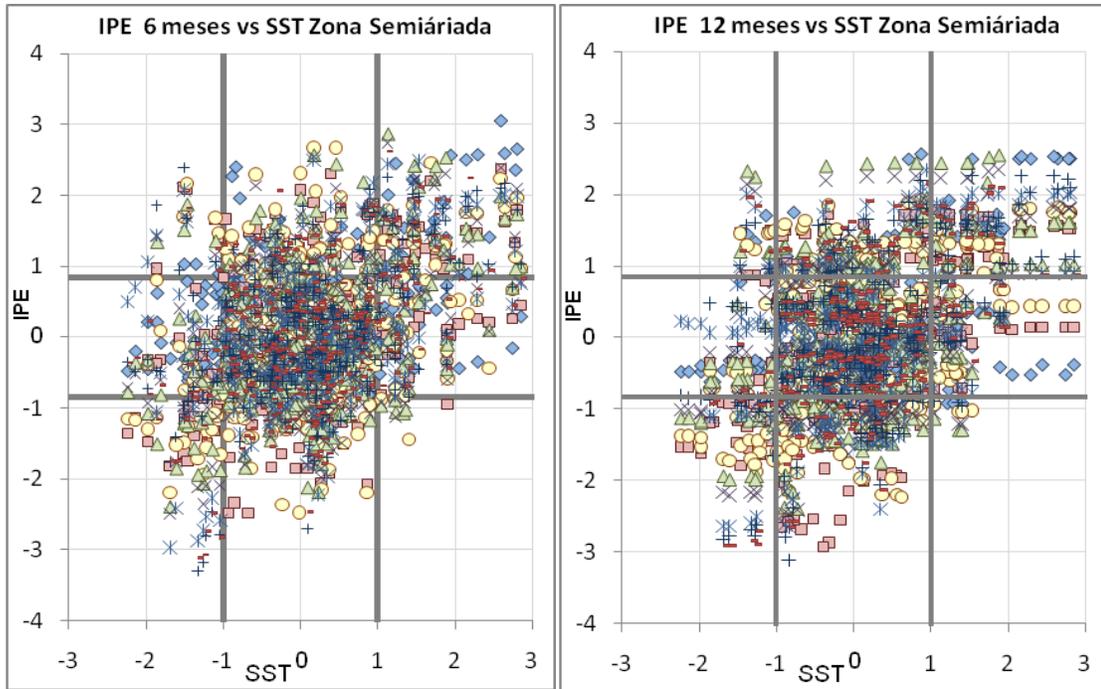


Figura 47: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e IPE en estaciones de la zona semiárida.

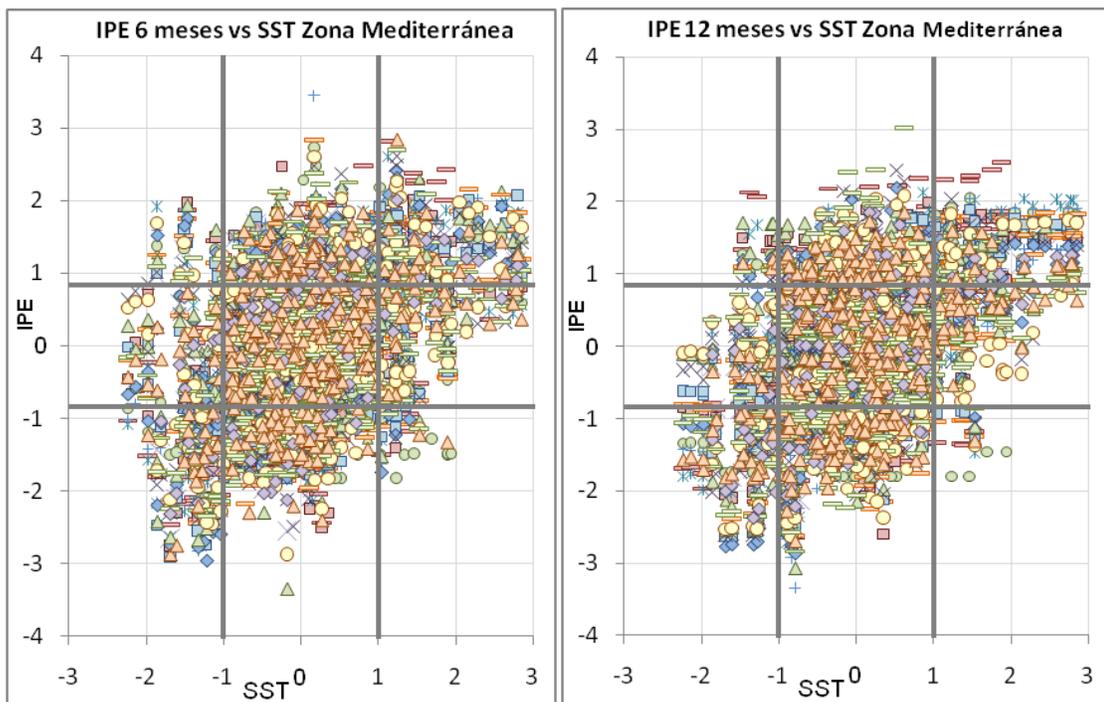


Figura 48: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e IPE en estaciones de la zona mediterránea.

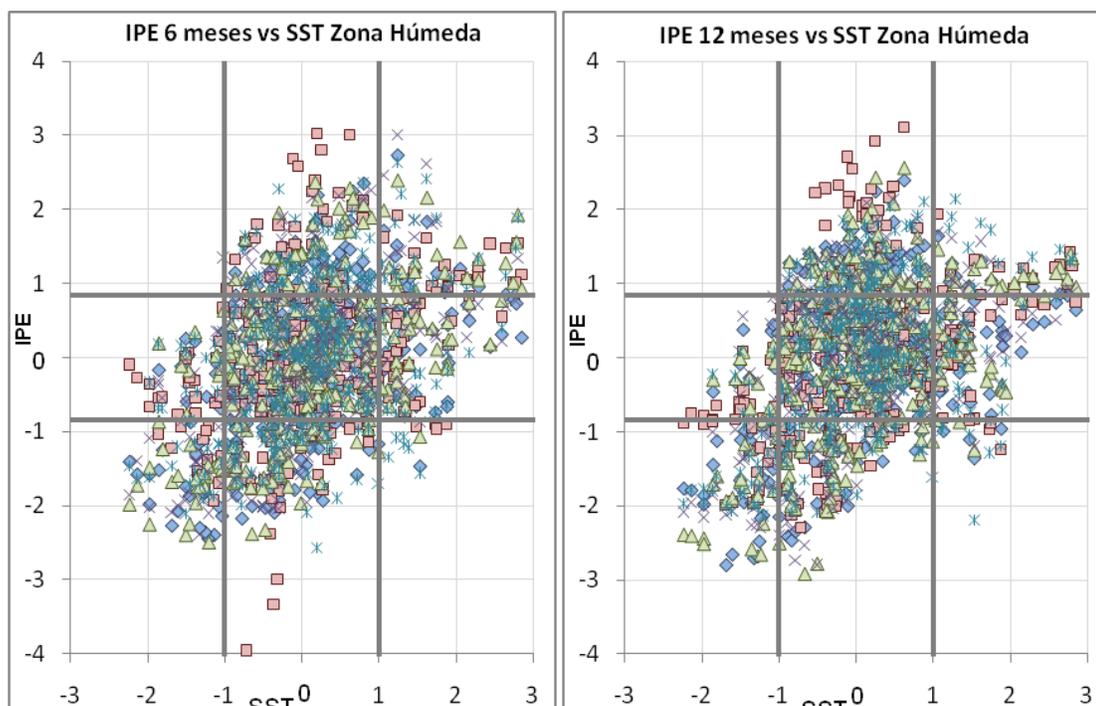


Figura 49: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e IPE en estaciones de la zona húmeda.

Los gráficos anteriores también muestran una diferencia en el grado de dependencia entre los valores del SST y del IPE. Para zonas semiáridas, se observa una cierta correlación entre los indicadores, la cual se hace más significativa para zonas mediterráneas y, en un mayor grado aún, para zonas húmedas. De hecho, casi no se tiene independencia extrema entre los indicadores para el caso de zonas húmedas (sectores A e I según Figura 46). Todo lo anterior confirma el significativo vínculo de los indicadores en esta zona, y por lo tanto, la fuerte dependencia entre la ocurrencia de eventos secos identificados a través del IPE y los periodos secos típicamente asociados al fenómeno de La Niña.

A partir de los registros de precipitaciones es posible estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento de sequía meteorológica (según un valor  $IPE < -0.84$ ) dado que se está en presencia del fenómeno de la Niña ( $P(\text{sequía}/\text{Niña})$ ). Este cálculo es presentado en la Tabla 36 (última columna) junto con un desglose de la proporción de los datos identificados en cada uno de los sectores de correlación, según la Figura 46. Se observa que para climas más húmedos,  $P(\text{sequía}/\text{Niña})$  aumenta y, en general, la independencia extrema entre sequías y el fenómeno ENSO disminuye.

Para interpretar los valores anteriores es interesante considerar que la probabilidad de que en una estación cualquiera en un mes se considere que hay sequía es igual a la probabilidad de que el IPE sea menor que  $-0,84$  que es de  $0,20$ . Cuando se está en condiciones de La Niña, esta probabilidad aumenta a  $0,49$  en promedio en todas las estaciones considerando el IPE12, a  $0,47$  con el IPE6 y a  $0,33$  con el IPE3. El IPE12 es el indicador que está más ligado a La Niña y además la zona templada húmeda en la cual esta probabilidad aumenta más.

Tabla 36: Porcentaje de datos observados en cada zona del gráfico para IPE

Zona	12 meses											P(sequia/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	1,5%	12,5%	7,6%	3,4%	49,5%	6,8%	4,5%	13,6%	0,5%	2,1%	61,6%	0,47
Mediterránea	0,9%	11,9%	6,7%	4,1%	49,9%	7,8%	4,5%	13,8%	0,4%	1,3%	61,0%	0,48
Templada Húmeda	0,0%	14,9%	4,0%	3,1%	49,4%	9,9%	6,3%	11,3%	1,0%	1,0%	59,8%	0,67
total	1,0%	12,4%	6,6%	3,8%	49,7%	7,8%	4,7%	13,5%	0,5%	1,5%	61,1%	0,49
Zona	6 meses											P(sequia/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	1,2%	10,7%	7,6%	4,6%	55,2%	6,6%	3,7%	9,7%	0,6%	1,8%	66,6%	0,39
Mediterránea	0,9%	11,7%	7,1%	4,1%	50,4%	7,2%	4,5%	13,4%	0,7%	1,6%	62,0%	0,47
Templada Húmeda	0,1%	13,6%	5,2%	3,7%	48,8%	8,9%	5,7%	13,2%	0,8%	0,8%	59,7%	0,60
total	0,9%	11,6%	7,0%	4,2%	51,5%	7,2%	4,4%	12,4%	0,7%	1,6%	63,0%	0,47
Zona	3 meses											P(sequia/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	2,7%	18,2%	7,2%	4,8%	50,2%	7,4%	1,9%	7,3%	0,3%	3,0%	59,3%	0,20
Mediterránea	0,9%	12,3%	6,3%	5,1%	50,9%	7,9%	3,4%	12,4%	0,8%	1,7%	60,6%	0,36
Templada Húmeda	0,7%	13,4%	5,4%	4,3%	47,8%	8,3%	4,5%	14,4%	1,2%	1,9%	57,6%	0,47
total	1,3%	13,9%	6,4%	5,0%	50,4%	7,8%	3,1%	11,3%	0,7%	2,0%	60,0%	0,33

- **Análisis del ICE en relación a la SST**

- Similarmente, el efecto ENSO en la ocurrencia de sequía hidrológicas puede estudiarse mediante la comparación entre los valores del ICE y del SST 3.4. Las estaciones utilizadas para esta comparación son: Copiapó en La Puerta, Río Maipo en El Manzano, Río Tinguiririca en bajo Los Briones y Río Bío Bío en Rucalhue, como representativas de las zonas climáticas para el análisis de sequías hidrológicas. A continuación se presenta la evolución temporal de ambos indicadores en estas estaciones, considerando IPE de 3, 6 y 12 meses. Los valores de SST siempre corresponden a los valores mensuales.

## Estación Copiapó en La Puerta

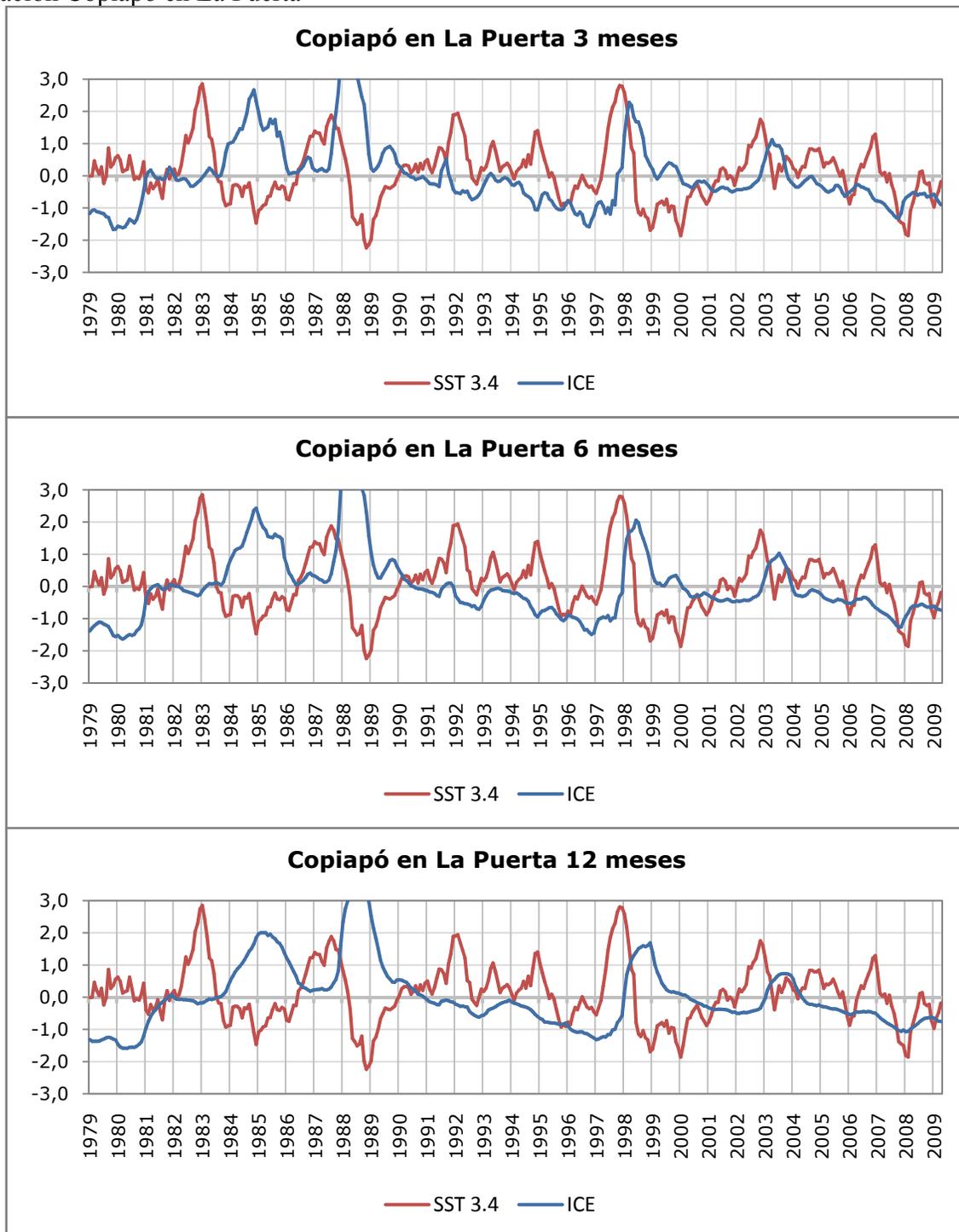


Figura 50: Series históricas de SST e ICE de 3, 6 y 12 meses en Copiapó en La Puerta.

## Estación Río Maipo en El Manzano

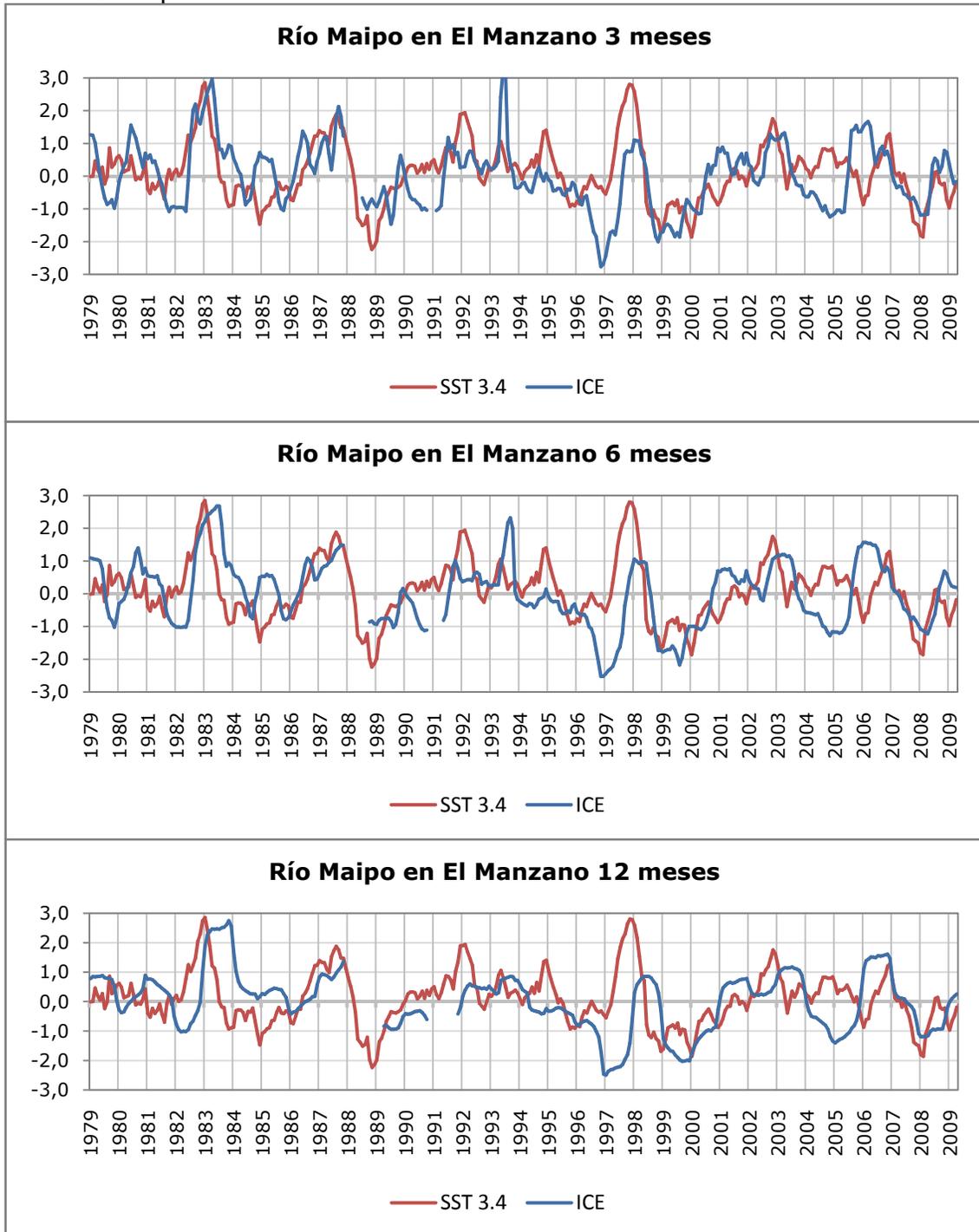


Figura 51: Series históricas de SST e ICE de 3, 6 y 12 meses en Maipo en El Manzano.

## Estación Río Tinguiririca bajo Los Briones

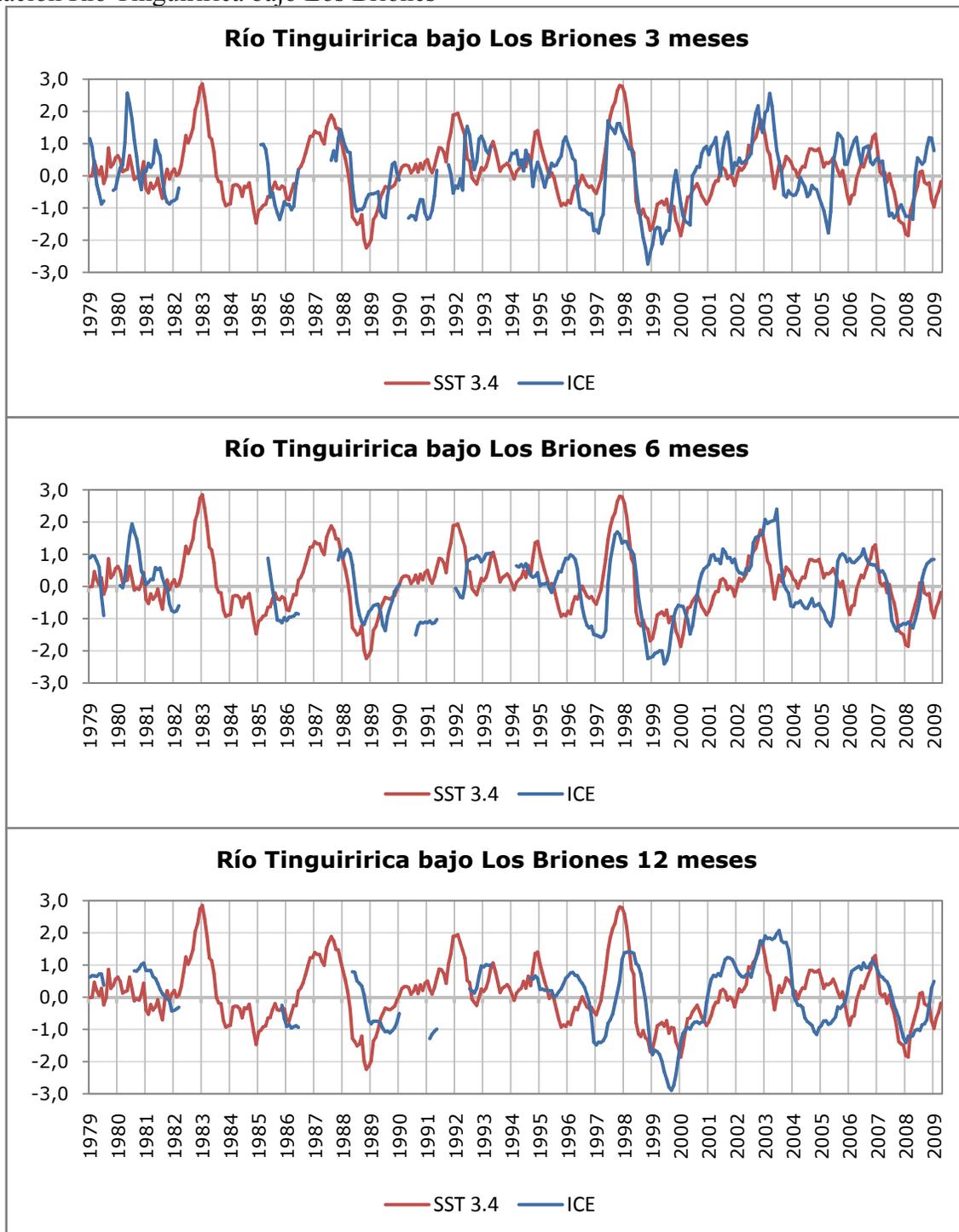


Figura 52: Series históricas de SST e ICE de 3, 6 y 12 meses en Tinguiririca en bajo Los Briones.

## Estación Río Bío Bío en Rucalhue

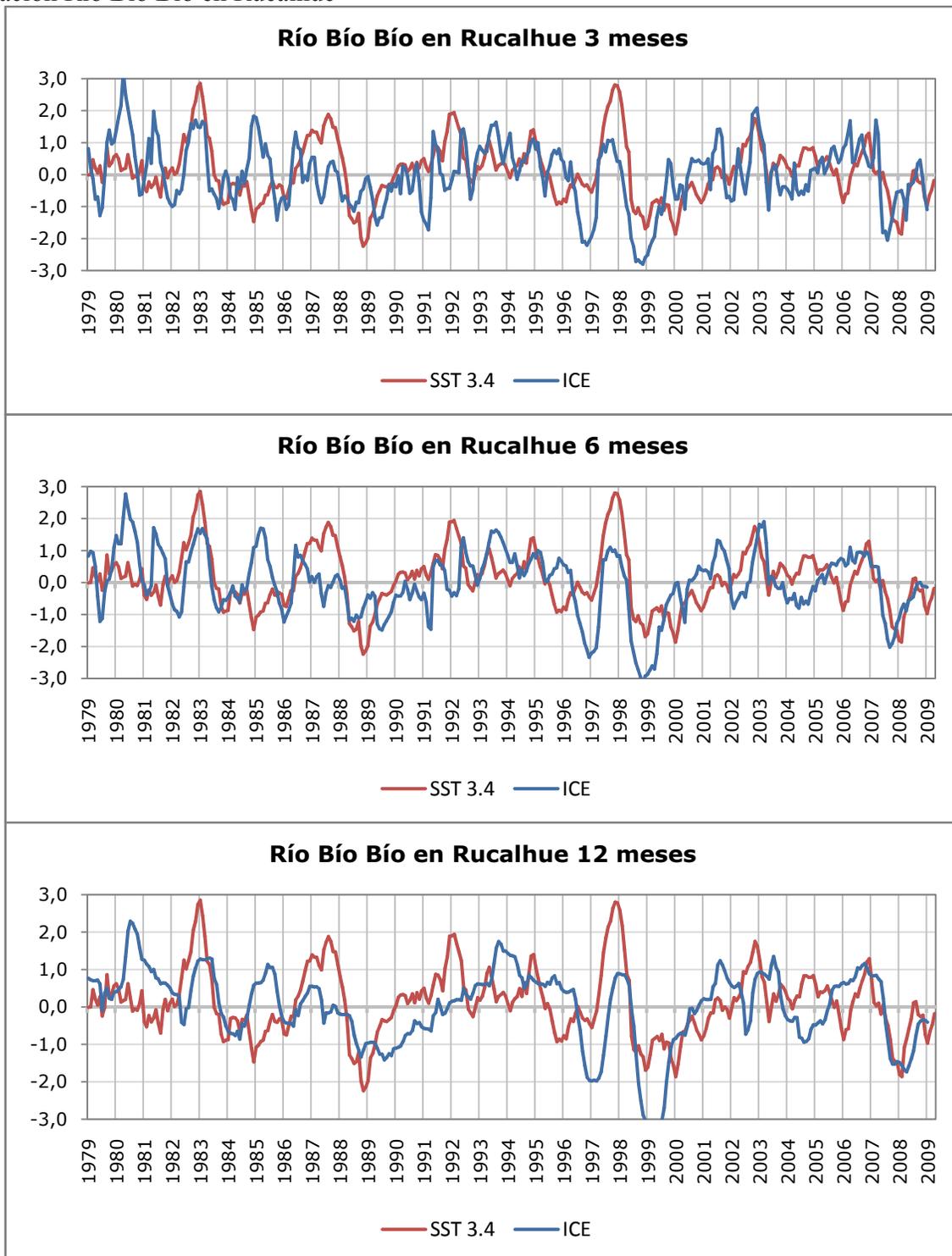


Figura 53: Series históricas de SST e ICE de 3, 6 y 12 meses en Bío Bío en Rucalhue.

En general se observa un comportamiento similar al apreciado con el IPE, pero en este caso existiría un cierto desfase temporal entre los valores de SST y los de ICE, de tal manera que la existencia de valores altos de SST, El Niño, generan valores altos de IPE desfasados en varios meses e incluso más de un año, sobre todo en la zona semiárida. Estos desfases se reducen hacia el sur aumentando la concordancia de la existencia de sequías hidrológicas concurrentes con indicadores bajos de SST, o La Niña. En la zona mediterránea hacia el sur se aprecia un comportamiento muy acompasado de los indicadores ICE6 e ICE12 con el SST mensual

Las próximas figuras corresponden a los gráficos por dispersión para las tres macro-zonas climáticas, junto con la sectorización para la identificación del grado de independencia previamente explicada. Estos gráficos se construyeron para valores ICE6 e ICE12 dado que son estos indicadores los que caracterizan condiciones hidrológicas de duraciones significativas. Se incluyen en cada caso todos los valores mensuales de la serie de todas las estaciones disponibles en cada zona.

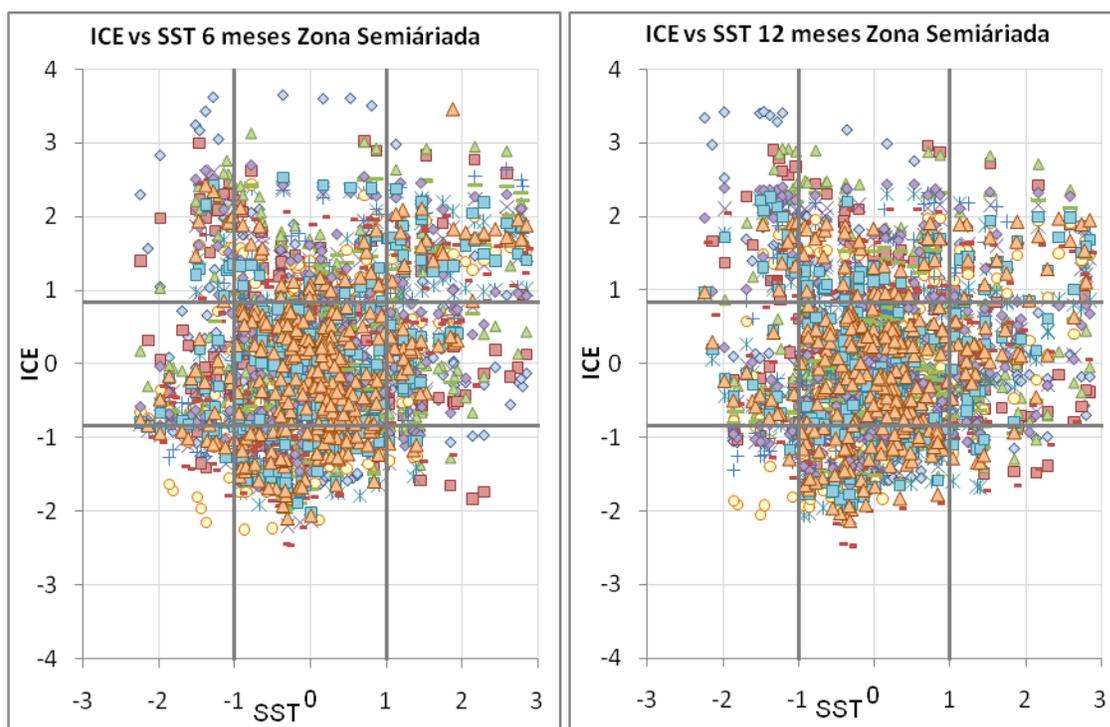


Figura 54: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e ICE en estaciones de la zona semiárida.

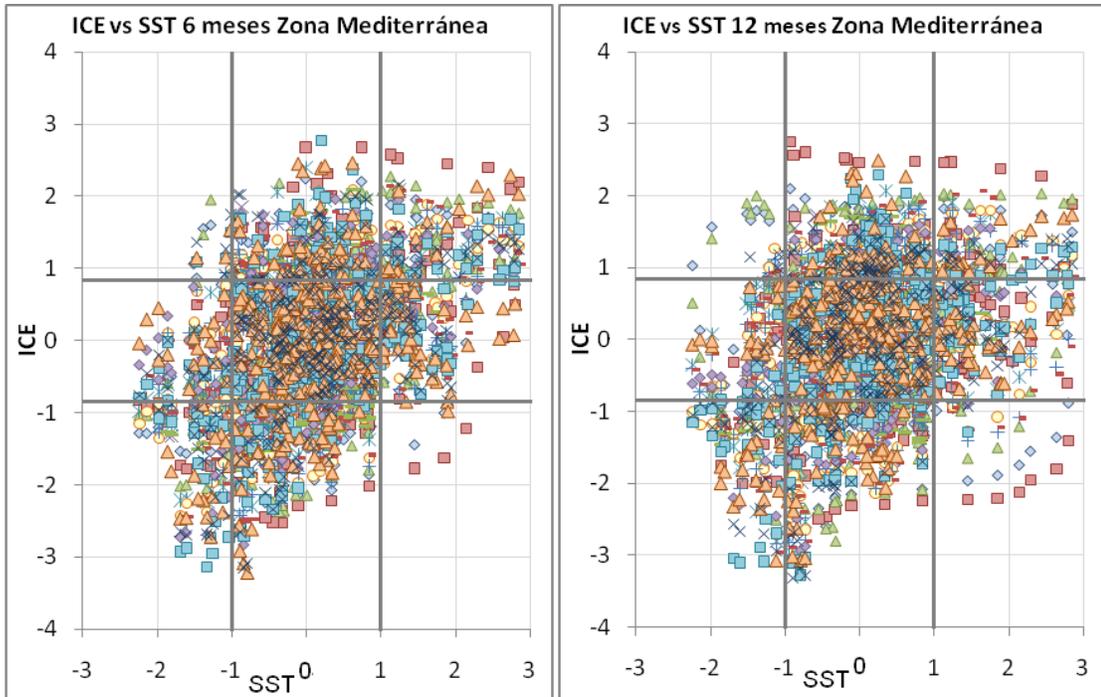


Figura 55: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e ICE en estaciones de la zona mediterránea.

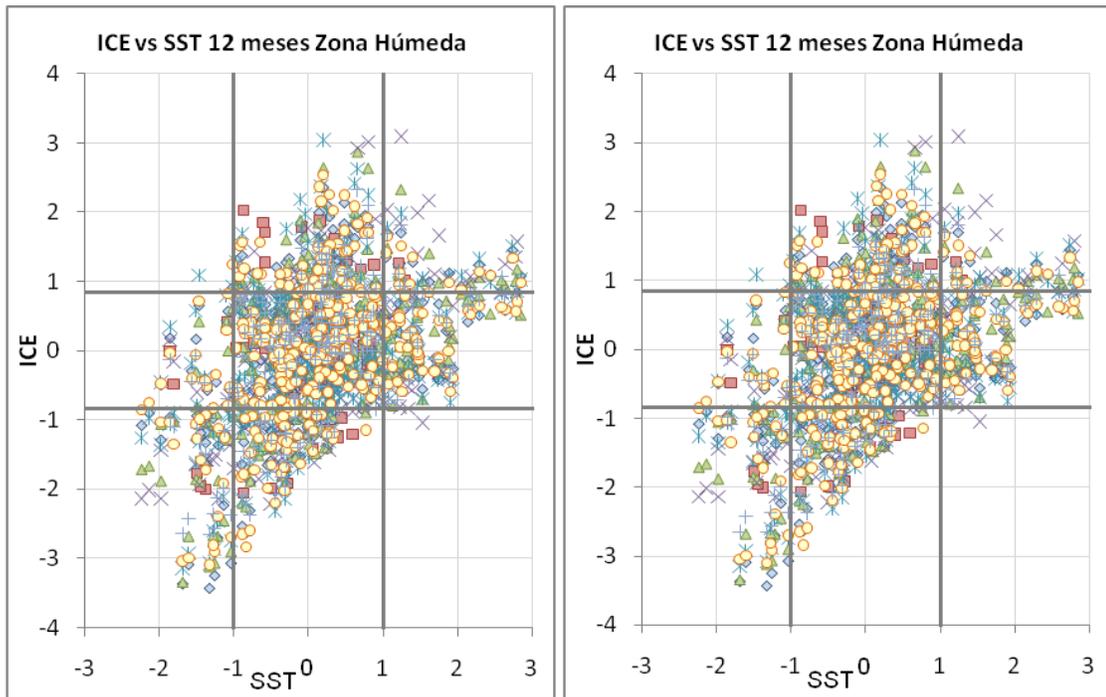


Figura 56: Gráfico de dispersión de valores mensuales de SST e ICE en estaciones de la zona húmeda.

Nuevamente es posible estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento donde se deba declarar sequía hidrológica ( $ICE < -0.84$ ) dado que se está en presencia del fenómeno de la Niña (P(sequía/Niña)). Este cálculo es presentado en la Tabla 37 (última columna) junto con un desglose de la proporción de los datos identificados en cada uno de los sectores de correlación, según la Figura 46. Nuevamente se observa que para climas húmedos, P(sequía/Niña) aumenta y, en general, la independencia extrema entre sequías y el fenómeno ENSO disminuye.

De manera curiosa es posible apreciar que en la zona semiárida la probabilidad condicionada de que haya sequía dado que se está en situación de La Niña, es para todos los indicadores ICE menor que la probabilidad libre de sequía que es de un 0,2. Solo en la zona mediterránea y húmeda este valor alcanza cifras significativas diferentes al 0,20, llegando en el caso de la zona húmeda al 0,56 para el ICE12. Esto se debe a que existe un claro desfase entre las condiciones del SST en el Pacífico central y la ocurrencia de caudales de Chile. También es significativo observar que las condiciones normales de SST coinciden abundantemente con situaciones normales de IPE.

Tabla 37: Porcentaje de datos observados en cada zona del gráfico para ICE

Zona	12 meses											P(sequía/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	3,0%	8,0%	3,2%	5,4%	54,8%	10,7%	1,3%	12,5%	1,3%	4,3%	59,2%	0,13
Mediterránea	0,8%	9,9%	3,0%	6,2%	55,5%	11,5%	2,7%	9,9%	0,5%	1,3%	61,2%	0,28
Templada Húmeda	0,2%	11,0%	1,8%	4,0%	56,4%	12,7%	5,4%	7,9%	0,6%	0,7%	63,6%	0,56
total	1,3%	9,6%	2,9%	5,7%	55,4%	11,5%	2,7%	10,3%	0,7%	2,0%	61,0%	0,28
Zona	6 meses											P(sequía/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	2,2%	7,6%	5,1%	6,0%	53,8%	9,0%	1,4%	13,9%	1,0%	3,2%	60,4%	0,15
Mediterránea	0,6%	10,0%	4,2%	5,7%	54,7%	10,7%	3,3%	10,6%	0,2%	0,8%	62,1%	0,34
Templada Húmeda	0,2%	11,3%	3,2%	4,7%	54,4%	11,8%	4,8%	9,7%	0,1%	0,2%	62,4%	0,50
total	0,9%	9,5%	4,3%	5,7%	54,4%	10,4%	3,0%	11,3%	0,4%	1,3%	61,7%	0,31
Zona	3 meses											P(sequía/Niña)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	A+I	G+E+C	
Semiárida	1,7%	7,8%	6,0%	6,1%	52,9%	8,3%	1,8%	14,5%	0,8%	2,5%	60,8%	0,19
Mediterránea	0,6%	9,5%	4,8%	5,7%	54,7%	10,1%	3,3%	11,1%	0,2%	0,8%	62,8%	0,34
Templada Húmeda	0,5%	11,3%	3,7%	4,7%	53,3%	11,3%	4,4%	10,7%	0,2%	0,7%	61,3%	0,45
total	0,9%	9,3%	5,0%	5,7%	54,1%	9,8%	3,1%	11,9%	0,4%	1,2%	62,1%	0,32

### 7.5.2 Comparación IPE e ICE con Resolución N°39 de 1984

Los indicadores de sequía pueden ser estudiados a través de una comparación de su desempeño en la declaración de sequía extraordinaria y el de la Resolución N°39 vigente hasta ahora. Esta comparación es de interés dado el extenso tiempo durante el cual la Resolución N°39 ha estado operativa.

- **Análisis IPE**

Se consideraron 38 estaciones pluviométricas utilizadas por la DGA en los años 2007-2008 para la declaración de sequías extraordinarias. En el análisis deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- El cálculo de las medias estadísticas se realizó con las series de datos de los últimos 30 años hasta el mes de análisis (1978-2007). Esta metodología difiere de la utilizada por la DGA, en la cual se utiliza el periodo entre los años 1961-1990 para definir las condiciones normales y el promedio de las precipitaciones medias mensuales de la serie.
- El cálculo de  $P_{10}$  (Precipitación mensual acumulada de 10 años de periodo de retorno) se realiza ajustando la serie de datos del periodo 1978-2007 a distribuciones empíricas, con las cuales se calcula el valor de precipitación con probabilidad de excedencia  $P_{10}$ .

La Tabla 38, muestra los resultados obtenidos en la aplicación de la Resolución N°39 para la serie de 30 años. Para cada estación (columna 1) se calcula el n° de meses en que se cumplen los dos criterios de precipitaciones establecido por la resolución para decretar una sequía (columna 2 y 3), junto con el número de meses en que se cumplen una u la otra condición (columna 4) o ambas condiciones simultáneamente (columna 5). Se puede apreciar que el número de meses en que se verifican ambos criterios es sustancialmente menor a la cantidad total de meses en que al menos uno de los criterios se cumple.

Tabla 38: Número de meses en la serie de tiempo en que se cumplen las condiciones de sequía establecidas por la Resolución N°39 de 1984 entre 1978 y 2007 (total de 360 meses).

Estación	PP Acum	P10	P acum o P10	Ambas condiciones
Copiapó	213	-	213	-
Vallenar DGA	189	-	189	-
Vicuña (INIA)	131	-	131	-
Paloma Embalse	130	-	130	-
Salamanca	104	-	104	-
Huintil Hacienda	109	-	109	-
Los Vilos DMC	87	-	87	-
Quilimarí	86	-	86	-
Longotoma	121	24	130	15
Vilcuya	130	23	134	19
San Felipe	137	24	142	19
Quillota	124	24	138	10
Rodelillo	137	24	145	16
Fundo Las Dos Puertas	70	12	70	12
La Obra Recinto EMOS	61	12	62	11
Terraza Ofcs. Centrales DGA	122	24	132	14
Rancagua (Cachapoal) – DCP	98	24	109	13
San Fernando – DCP	107	24	113	18
Litueche	108	24	115	17
Rapel	111	24	121	14
Pichilemu	95	24	100	19
Nilahue Barahona	102	24	114	12
Curicó	97	24	106	15
Parral	85	24	98	11
Talca U.C.	90	23	98	15
Digua Embalse	81	18	88	11
Chillán Viejo	70	24	80	14
Fundo Atacalco	62	24	73	13
Coelemu	70	24	85	9
Dichato	41	23	58	7
Quilaco	59	24	69	14
Los Ángeles	60	24	76	8
Concepción DGA	37	12	43	6
Cañete	53	24	71	6
Angol (La Mona)	57	24	73	8
Pueblo Nuevo (Temuco)	50	24	68	7
Llancahue	49	24	66	8
Adolfo Matthei	35	24	53	6
Puerto Montt	39	24	59	4

A fin de apreciar visualmente la ocurrencia de sequías según el indicador IPE y la ocurrencia según la Resolución N°39, se realizó el siguiente análisis gráfico para distintas estaciones. En este análisis se incluyen en las series mensuales de IPE para 6 y 12 meses los meses en los cuales se pudiese haber declarado una sequía según la Resolución N° 39 (como puntos).

## Estación Copiapó

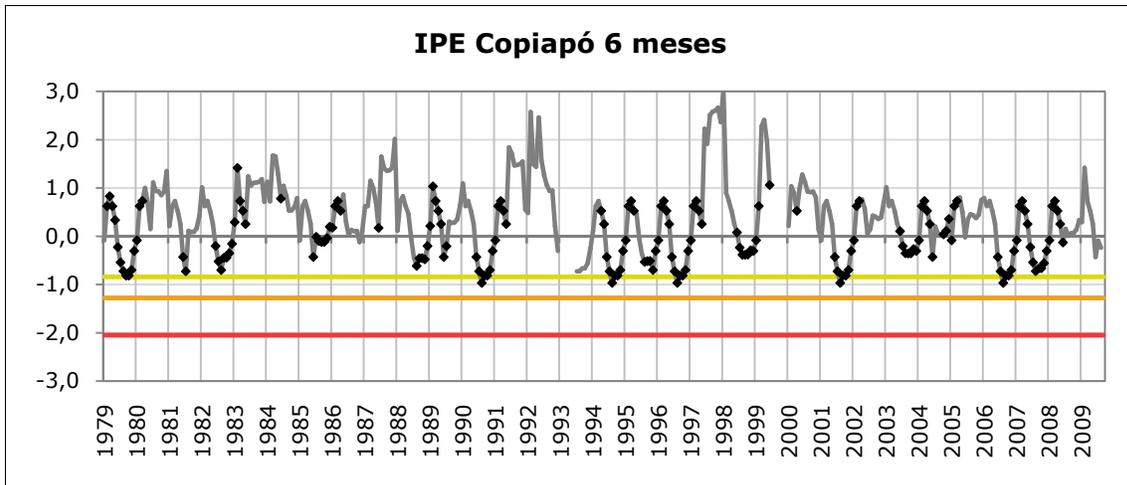


Figura 57: Serie de IPE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Copiapó.

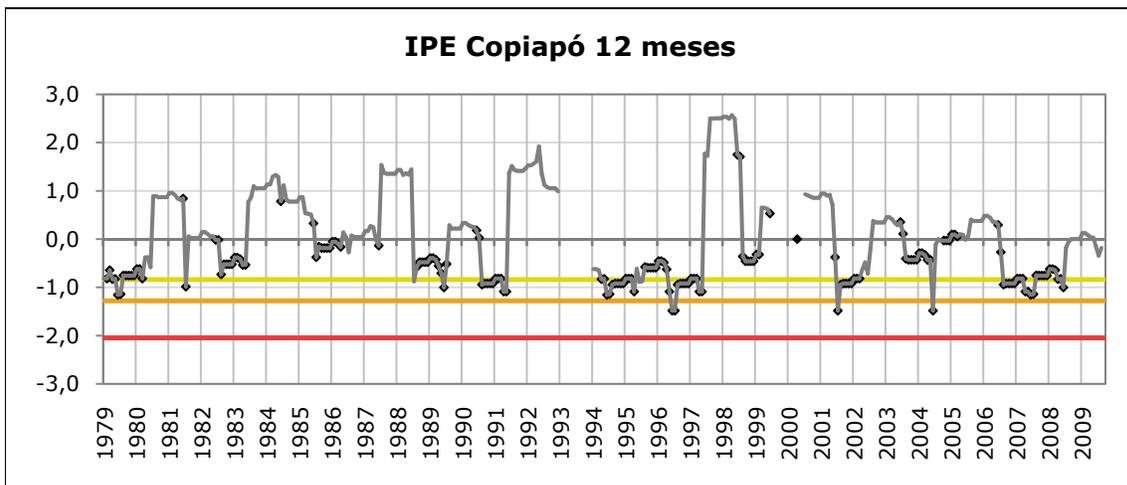


Figura 58: Serie de IPE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Copiapó.

## Estación San Felipe

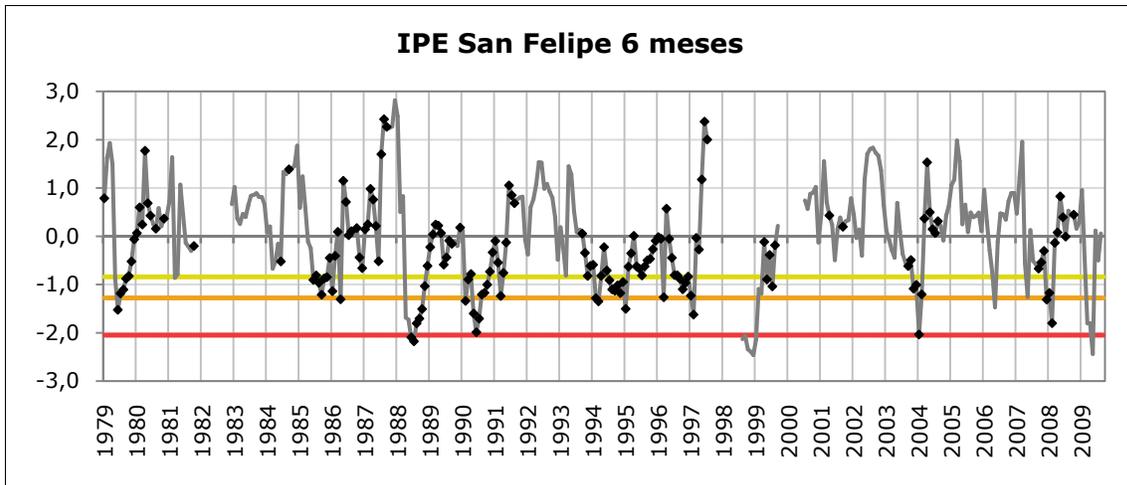


Figura 59: Serie de IPE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación San Felipe.

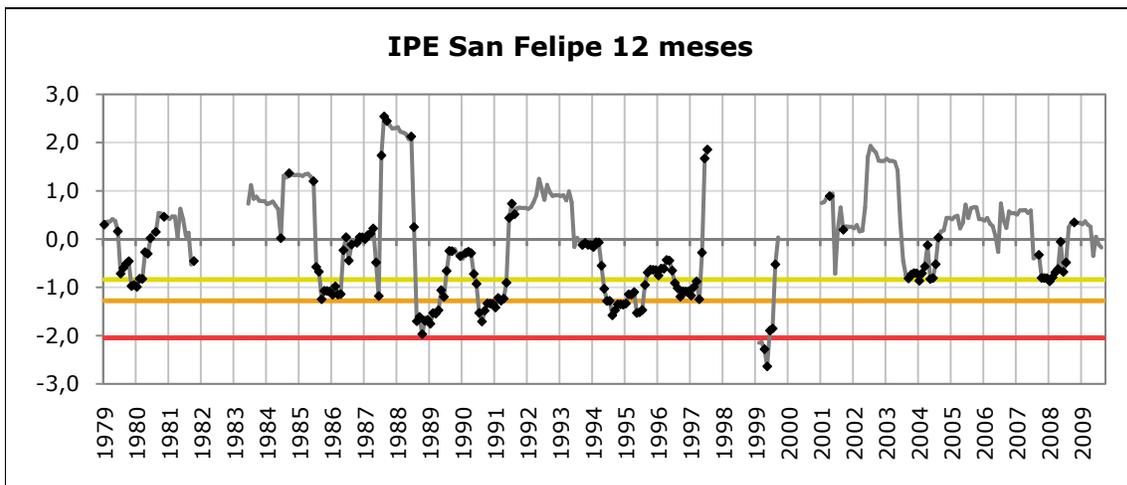


Figura 60: Serie de IPE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación San Felipe

Estación Rancagua en Cachapoal

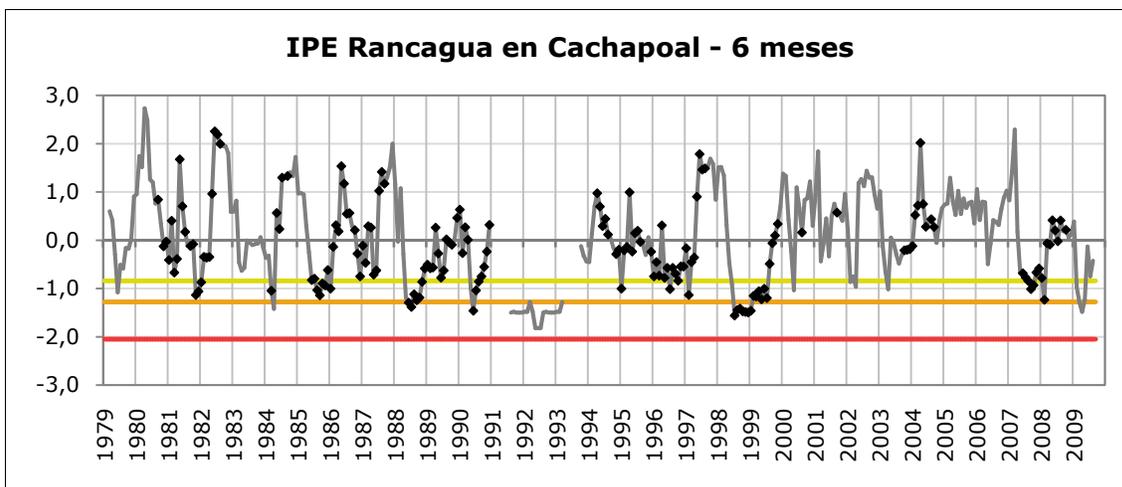


Figura 61: Serie de IPE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Rancagua en Cachapoal.

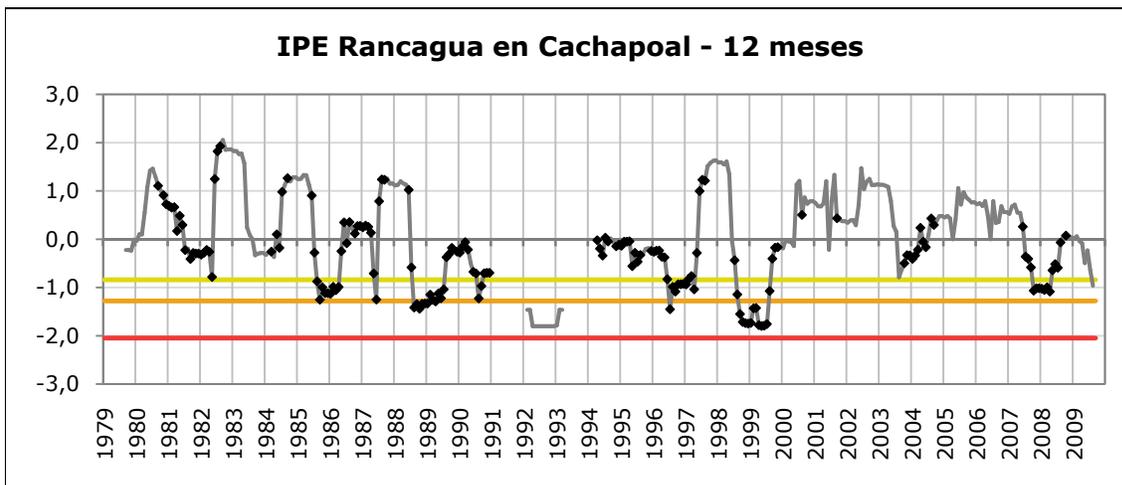


Figura 62: Serie de IPE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Rancagua en Cachapoal.

## Estación Puerto Montt

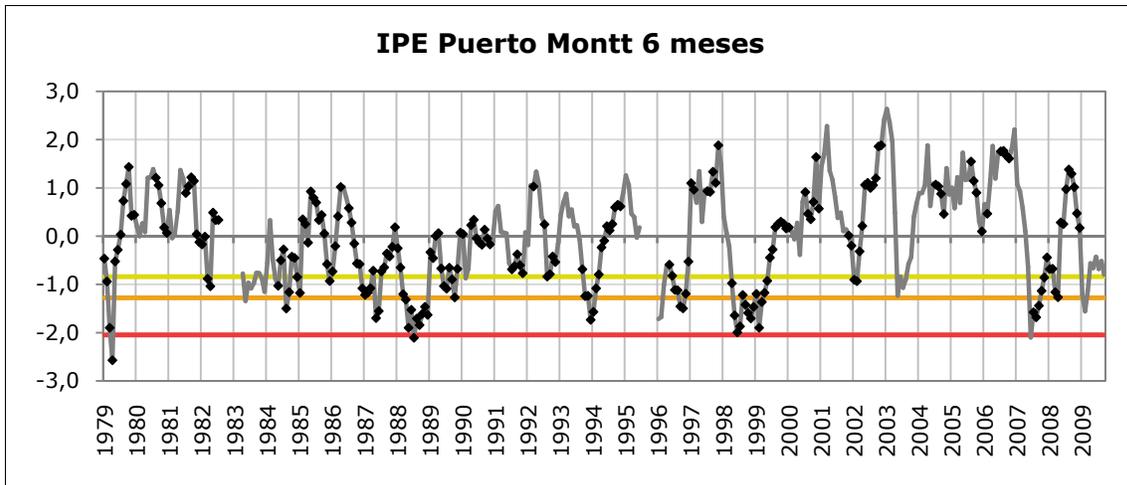


Figura 63: Serie de IPE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Puerto Montt.

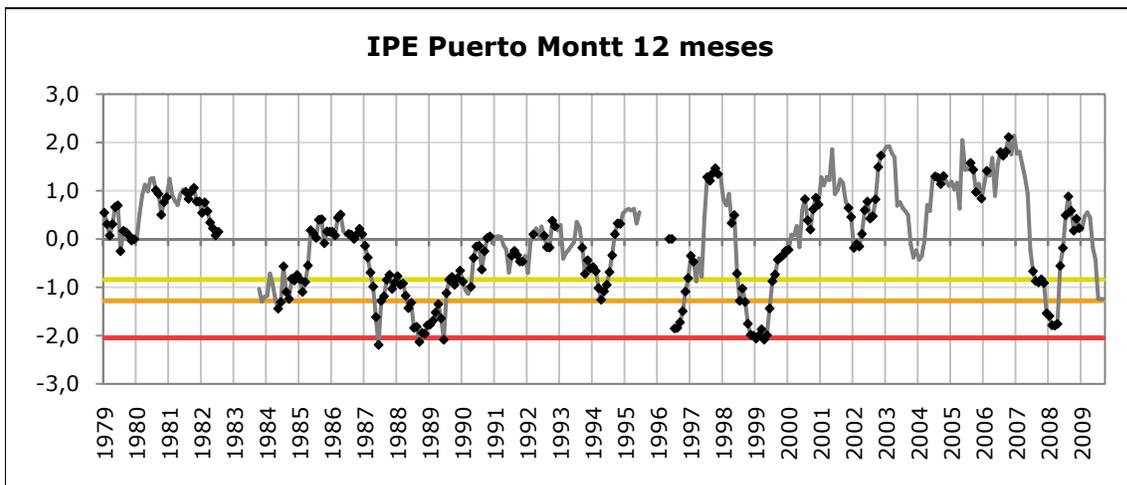


Figura 64: Serie de IPE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Puerto Montt.

En los gráficos anteriores se observa que existe algún grado de similitud entre los meses a declarar sequía detectados según la Resolución N°39 y el IPE. En muchos casos sin embargo hay meses donde se estaría declarando una sequía según la resolución que no sería declarada según el IPE, el cual correspondería al de un mes normal, e incluso húmedo ( $IPE > 0.84$ ). En general, se tiene una mayor similitud entre ambos criterios cuando la condición de escasez es más crítica, lo que se traduce en mayores semejanzas entre los resultados producidos por la resolución y el IPE 12. Esta observación es razonable ya que, para mayores duraciones, la escasez de precipitaciones origina también condiciones más críticas y persistentes para los caudales, lo cual es identificado por la resolución 39. Sin embargo se aprecia que en general los meses en que la Resolución 39 declara sequías persisten después de superada la situación, probablemente muy influida por condiciones de escasez ya superadas pero que tienen peso en los indicadores. Esto ocurre con mayor frecuencia en el sur que en el norte. De una simple inspección visual de los gráficos se aprecia una mejor concordancia entre los indicadores en la zona semiárida que en la zona mediterránea y húmeda.

La Tabla 39 compara la cantidad de meses en los que se identifica una condición de sequía según la resolución N°39 y el indicador IPE para las distintas series de tiempo ( $IPE < -0.84$ ). En general se observa que a través de la resolución se declararían más sequías que utilizando el indicador IPE. Sin embargo, para climas húmedos esta diferencia se reduce y el número de declaraciones según ambos criterios tiende a ser más similar.

Tabla 39: Número de meses con condiciones de sequía según la Resolución N°39 de 1984 y el indicador IPE para distintas series de tiempo (período 1978-2007)

	Resolución N°39	IPE serie de tiempo			
		IPE 12 Meses	IPE 6 Meses	IPE 3 Meses	IPE 1 Mes
Copiapó	213	49	5	0	0
Vallenar DGA	189	0	3	5	18
Vicuña (INIA)	131	62	46	31	0
Paloma Embalse	130	84	61	40	0
Salamanca	104	70	59	38	22
Huintil Hacienda	109	80	64	36	0
Los Vilos DMC	87	53	41	34	0
Quilimarí	86	52	38	30	0
Longotoma	130	49	49	38	29
Vilcuya	134	72	73	56	32
San Felipe	142	69	64	46	32
Quillota	138	79	64	45	26
Rodelillo	145	58	55	38	29
Fundo Las Dos Puertas	70	44	35	26	22
La Obra Recinto EMOS	62	38	28	27	15
Terraza Ofcs. Centrales DGA	132	85	71	53	31

	<b>Resolución N°39</b>	<b>IPE 12 Meses</b>	<b>IPE 6 Meses</b>	<b>IPE 3 Meses</b>	<b>IPE 1 Mes</b>
Rancagua (Cachapoal) – DCP	109	66	67	53	39
San Fernando – DCP	113	78	73	69	40
Litueche	115	85	78	57	35
Rapel	121	79	71	52	37
Pichilemu	100	57	66	52	47
Nilahue Barahona	114	62	60	50	44
Curicó	106	74	71	60	48
Parral	98	71	70	70	55
Talca U.C.	98	65	62	64	35
Digua Embalse	88	66	67	70	66
Chillán Viejo	80	73	70	74	65
Fundo Atacalco	73	65	67	72	75
Coelemu	85	69	70	80	50
Dichato	58	53	67	70	56
Quilaco	69	65	63	71	74
Los Ángeles	76	76	78	74	71
Concepción DGA	43	33	34	31	26
Cañete	71	50	52	68	72
Angol (La Mona)	73	77	68	61	55
Pueblo Nuevo (Temuco)	68	69	70	73	71
Llancahue	66	70	72	76	70
Adolfo Matthei	53	60	59	60	59
Puerto Montt	59	76	80	81	69
<b>Valores generales en meses</b>					
Mínimo	43	33	28	26	0
Máximo	145	85	80	81	75
Promedio	96	66	62	55	40
Desviación típica	28	13	13	17	23
<b>Valores generales en porcentaje</b>					
Mínimo	12	9	8	7	0
Máximo	40	24	22	23	21
Promedio	27	18	17	15	11
Desviación típica	8	4	4	5	7

Es notable observar que de acuerdo a la Resolución 39 la cantidad de meses en que se puede declarar sequía es muy abundante en el norte, con 200, más del 50%, de los 360 meses disponibles en la serie y disminuye hacia el sur hasta llegar a alrededor de 60, que serían algo cercano al 20%. En cambio con el IPE12 e IPE6 esta cantidad es bastante regular para todas las estaciones manteniéndose alrededor de 60. Esto se puede apreciar con mayor precisión en los resultados generales que se muestran al final de la Tabla 39 los que se han calculado eliminando las dos primeras estaciones en las cuales claramente todos los indicadores fallan, unos por exageración como es la Resolución y los IPE por defecto.

En las series históricas analizadas la Resolución habría estado en condiciones de declarar sequía en promedio en 96 de los 360 meses de cada serie, con un mínimo de 43 meses y un máximo de 145. Los 96 meses promedio representan el 27% de los casos totales, lo que parece estar sobre el valor esperado de riesgo de ocurrencia de situaciones de sequía, que sería del orden del 20%, y con una desviación de 28 meses que corresponde al 8%. En este sentido el comportamiento del IPE12 e IPE6 es mucho más estable, con un promedio de 66 meses (18%) y una desviación de sólo 13 meses (inferior al 4%). Este análisis muestra que los indicadores basados en IPE son más fáciles de calibrar para obtener valores cercanos a los deseados y mucho más estables con un comportamiento más regular para todas las estaciones. También es posible indicar que el IPE1 y el IPE3 quedan abajo por defecto y tiene una variabilidad alta.

Se realiza un análisis con mayor detalle del comportamiento de la Resolución N°39 y el indicador IPE para el último evento de sequía documentada por la DGA durante los años 2007-2008. La Tabla 40 muestra el número de estaciones en las cuales se desarrolló una condición de sequía según lo establecido por la resolución y el IPE para distintas series de tiempo. Se observa que la cantidad de estaciones es bastante similar para el caso de la Resolución y el IPE 12, algo que confirma lo ya mencionado anteriormente.

Tabla 40: Resumen de cantidad de estaciones que cumplen con condición de sequía

	Evento Sequía 2007-2008					
	Nov-07	Dic-07	Ene-08	Feb-08	Mar-08	Abr-08
Resolución N°39 de 1984	31	31	31	33	33	26
IPE 12 meses	31	32	33	33	33	30
IPE 6 meses	22	22	24	29	21	13
IPE 3 meses	27	15	14	6	14	3
IPE 1 mes	12	0	2	2	7	1

La Tabla 41 muestra el número de estaciones coincidentes en este análisis. Se observa que el número de estaciones comunes a las obtenidas con la resolución crece para IPEs de períodos de tiempo más largo (IPE 6 e IPE 12). De hecho hay un número significativo de estaciones comunes entre lo generado por la resolución y el IPE 12, particularmente durante el verano del 2008.

Tabla 41: Cantidad de estaciones que cumplen con condición de sequía según resolución e indicador

	Estaciones coincidentes con Resolución					
	Nov-07	Dic-07	Ene-08	Feb-08	Mar-08	Abr-08
IPE 12 meses	28	28	29	30	30	20
IPE 6 meses	18	19	22	27	17	10
IPE 3 meses	24	13	9	5	12	2
IPE 1 mes	8	0	1	2	5	1

Se concluye entonces que la caracterización de sequías generada por el indicador IPE 12 meses es la más aproximada a la que se obtiene de la Resolución N°39 de 1984. Esto se debe a que la resolución considera la precipitación acumulada para el mes en estudio desde el mes de abril del año anterior, situación que se asemeja al cálculo de IPE para 12 meses de precipitación acumulada.

Finalmente, los meses a declarar sequía según la Resolución N°39 y el IPE de distintas duraciones para cada estación estudiada y cada mes del periodo 1979-2008 pueden ser visualizados mediante una representación gráfica espacial de identificación de sequías. Esta representación consiste en un mapa de celdas espacio-temporal, con las estaciones en la vertical y el tiempo en la horizontal. Así, cada celda del mapa está asociada a una estación y mes en particular, y puede ser pintada de un cierto color, dependiendo tanto de si se identificó o no una declaración de sequía, como de la magnitud de ésta.

Las próximas figuras corresponden al mapa de identificación de sequía según la Resolución N°39 y según el IPE 1, IPE 3, IPE 6 e IPE 12. Para estos mapas, los colores amarillo, naranja y rojo corresponden a valores del IPE entre -0.84 y -1.28, -1.28 y -2.05, y menores a -2.05, respectivamente. En el caso del mapa según la Resolución N°39, las celdas con color corresponden a los meses en los cuales, según el registro de precipitaciones, corresponde declarar sequía según los criterios de precipitación. Por lo tanto, estos meses no necesariamente coinciden con aquellos en los cuales la DGA si había declarado sequía extraordinaria. Adicionalmente, en todos los mapas una celda blanca implica condiciones normales o húmedas.

Se aprecia una cierta similitud entre el mapa creado a partir de la Resolución N°39 y los definidos a partir del IPE. Esta similitud se hace más significativa a medida que se considera un periodo de tiempo más extenso en el cálculo de las series de IPE. Se confirma lo mencionado anteriormente en lo referido al número considerablemente menor de meses en los cuales se identificaría una sequía si se usara el IPE 1 en vez de la resolución. Esta diferencia se reduce para los IPEs de mayor extensión temporal.

Finalmente, es interesante notar la extensión temporal y espacial de los eventos de sequía. En particular, la severidad de la sequía del periodo 1998-1999 para todo el país es fácilmente apreciable en este tipo de mapas de identificación de sequías

870294



Figura 65: Series espacio (estaciones de norte a sur) - temporales (1979-2008) de declaración de sequías según la Resolución 39 de 1984.

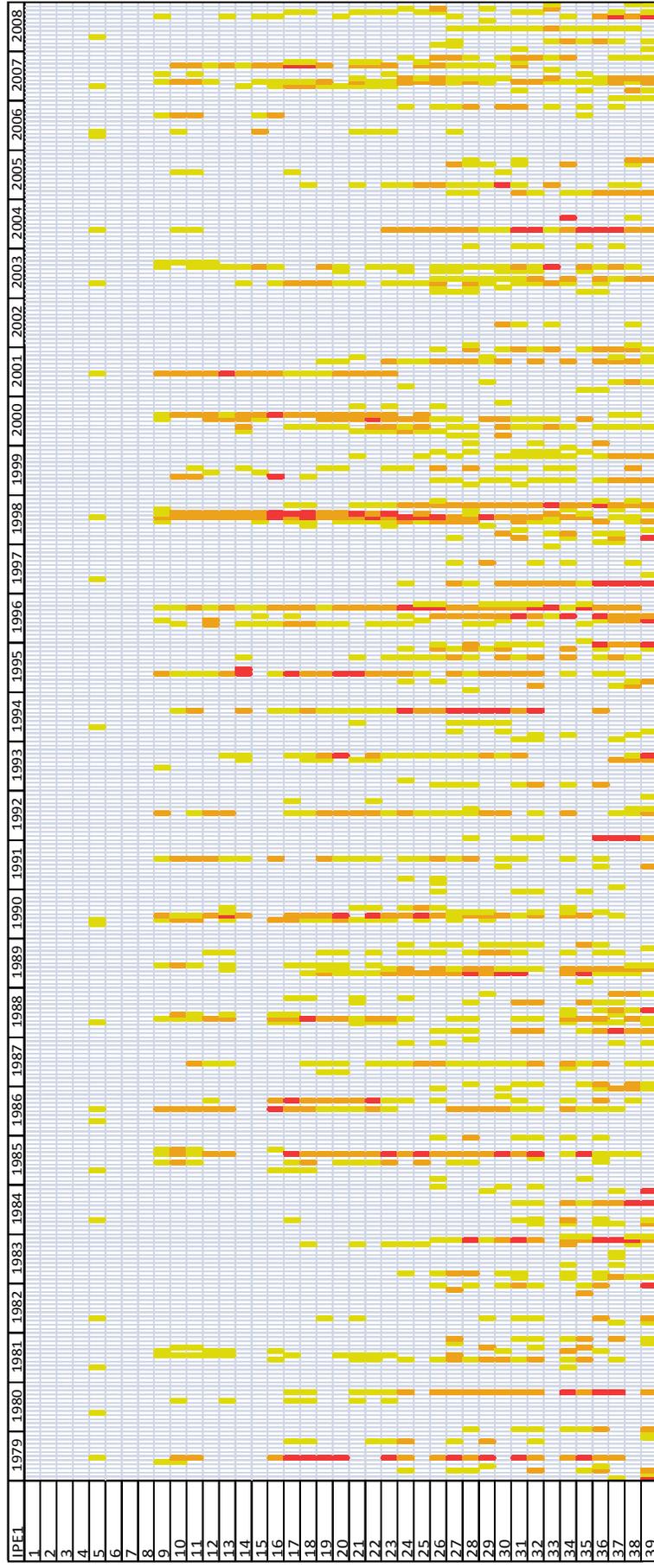


Figura 66: Series espacio (estaciones de norte a sur) - temporales (1979-2008) de IPE de 1 mes.

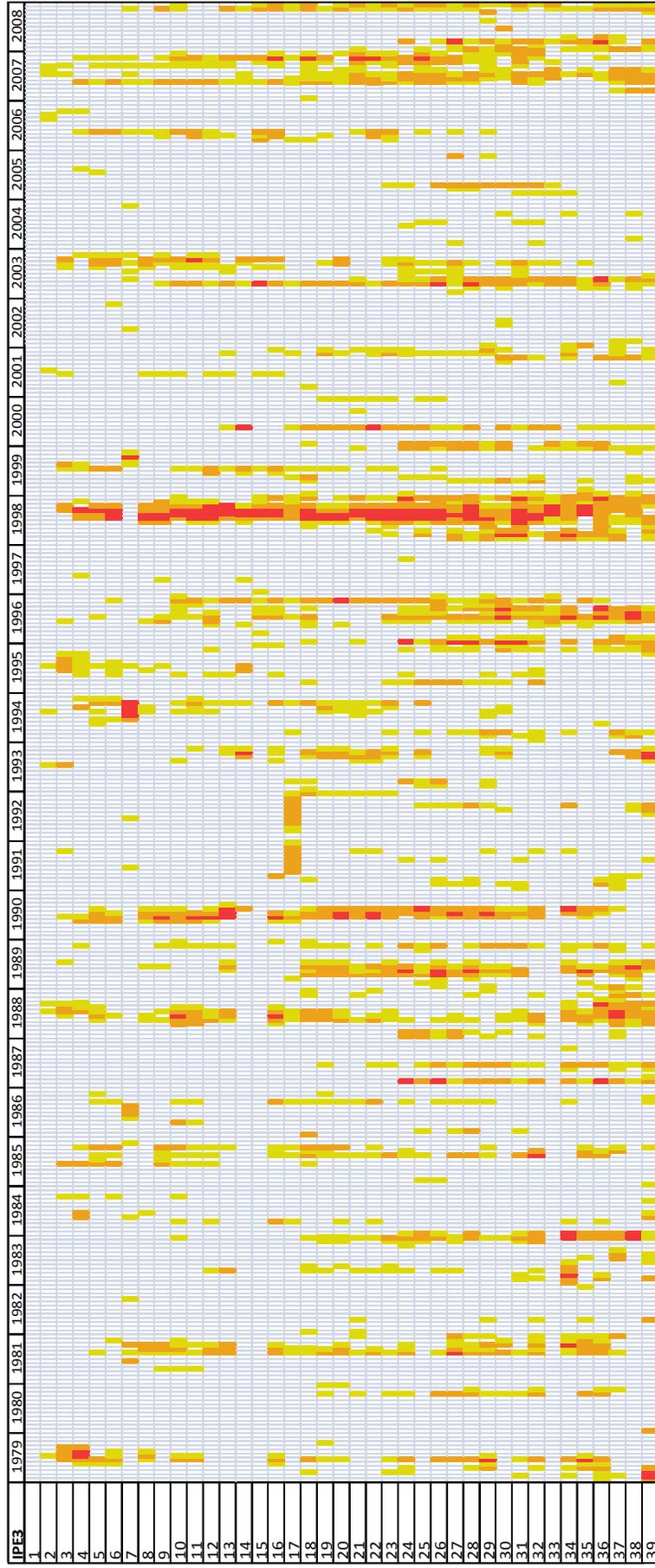


Figura 67: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de IPE de 3 mes.

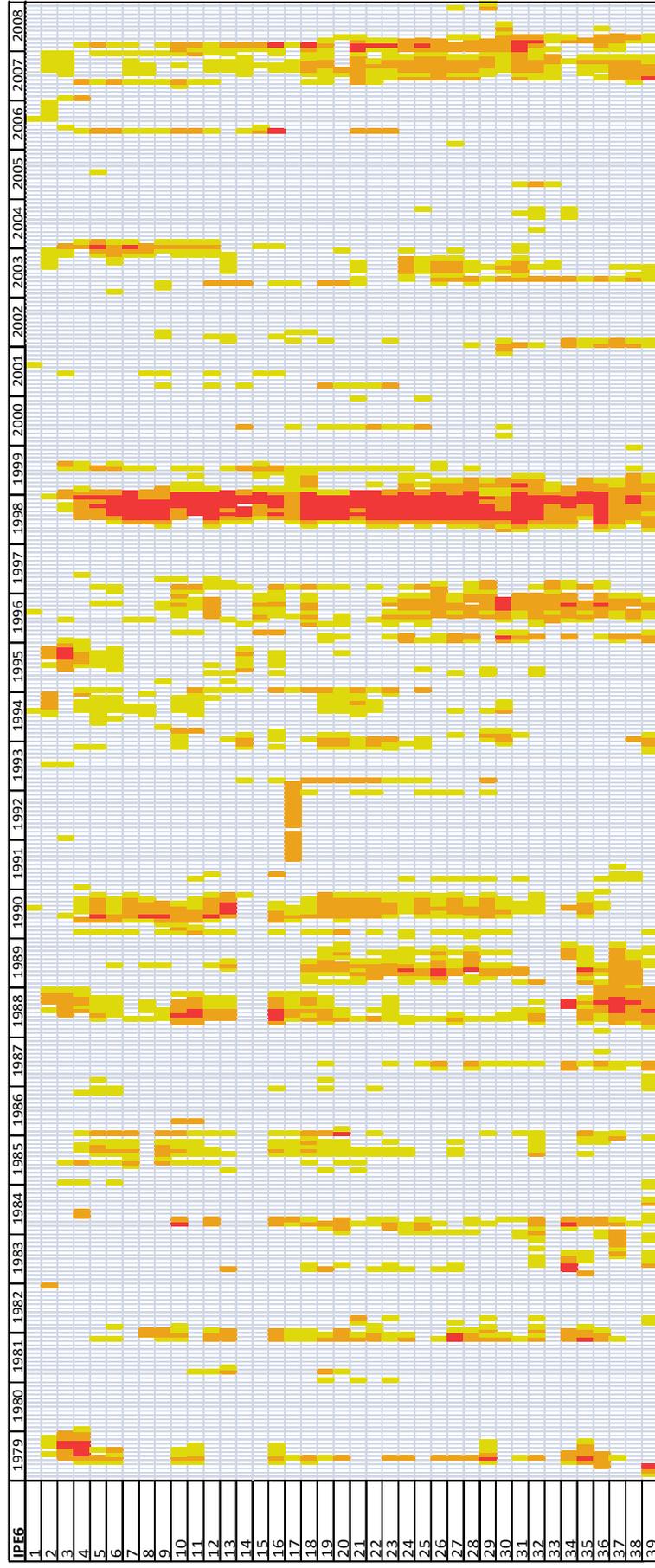


Figura 68: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de IPE de 6 mes.

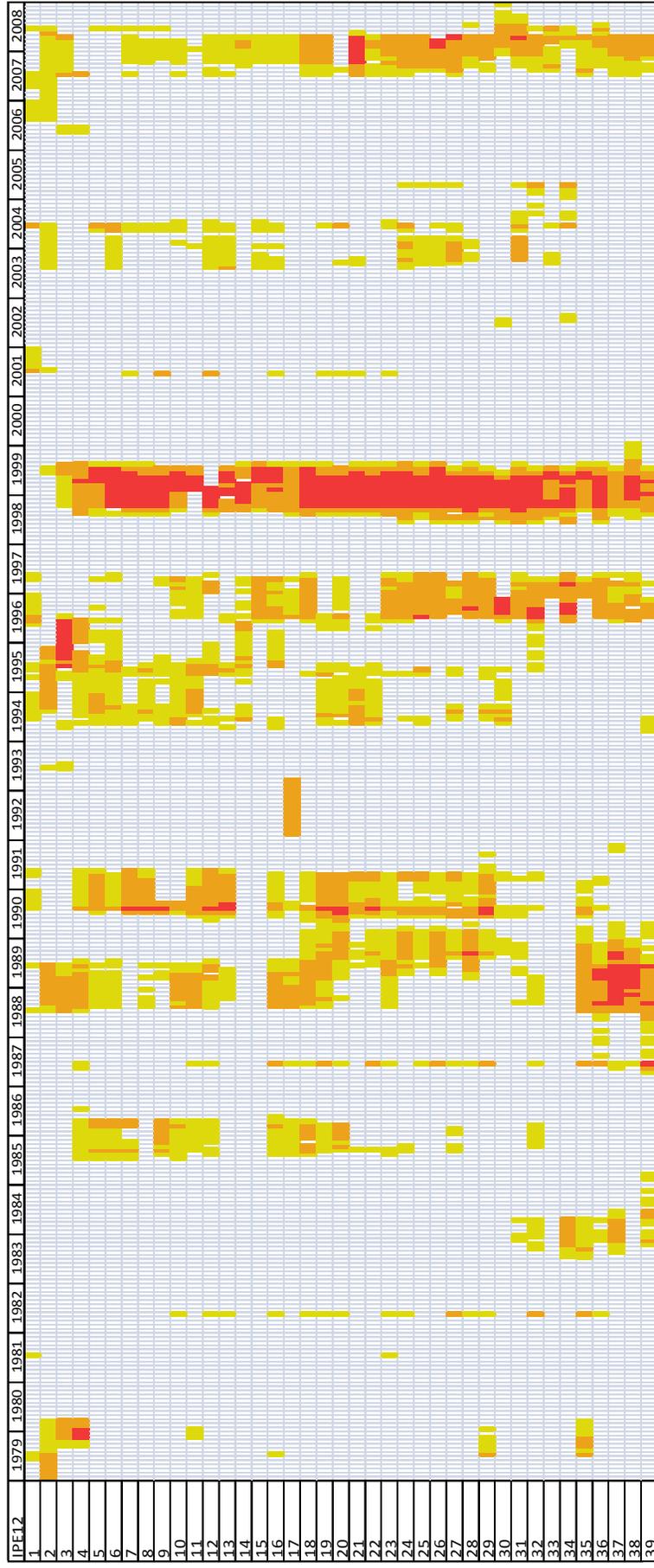


Figura 69: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de IPE de 12 mes.

Se puede determinar el grado de similitud de los mapas de identificación de sequía originados por la Resolución N°39 y los IPEs de distintas duraciones. Para tal propósito en los mapas de las páginas siguientes se representan mediante una convención de colores la ocurrencia simultánea de las estaciones y meses del periodo 1979-2008 en los cuales se debiese originar una declaración. La convención usada es la siguiente:

Declaración de sequía		IPE	
		Si	No
Resolución N°39	Si		
	No		

Siguiendo esta convención, si de acuerdo tanto a la Resolución N° 39 como al criterio basado en alguno de los IPEs se debe declarar sequía en alguna estación y mes en particular, se marca dicho mes con color rojo. Por otra parte, si ambos criterios generan una condición normal o húmeda, la celda correspondiente es dejada en blanco. Queda en azul cuando la Resolución indica declarar sequía y el IPE no, y viceversa con color verde. Es decir los colores verde y azul serían situaciones en las cuales la Resolución y el IPE entran en contradicción. La Tabla 42 resume los resultados obtenidos de la comparación. Analizando la totalidad de las estaciones, se observa que el porcentaje de coincidencias entre los resultados originados por la resolución y los IPEs están en un rango entre 71.9% (IPE 1 mes) y 87.2% (IPE 12 meses). Esto ratifica que los IPEs para mayores duraciones generan resultados más similares a los de la resolución. Un análisis general por regiones climáticas muestra que para climas más húmedos hacia el sur, la similitud se incrementa para cualquiera de los IPEs.

Tabla 42: Resumen del nivel de congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y los indicadores IPEs.

Total		IPE 1 mes		IPE 3 meses		IPE 6 meses		IPE 12 meses				
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No			
Res N°39-1984	Si	5.3%	22.7%	Si	9.1%	19.0%	Si	12.9%	15.1%	Si	15.0%	13.0%
	No	5.4%	66.6%	No	5.5%	66.4%	No	3.6%	68.3%	No	3.2%	68.7%
Semiárido		IPE 1 mes		IPE 3 meses		IPE 6 meses		IPE 12 meses				
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No			
Res N°39-1984	Si	1.2%	35.2%	Si	6.3%	30.4%	Si	10.7%	25.7%	Si	16.7%	19.7%
	No	0.4%	63.1%	No	2.0%	61.3%	No	1.7%	61.9%	No	1.2%	62.4%
Mediterráneo		IPE 1 mes		IPE 3 meses		IPE 6 meses		IPE 12 meses				
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No			
Res N°39-1984	Si	6.6%	20.3%	Si	9.9%	16.9%	Si	13.9%	13.0%	Si	15.2%	11.6%
	No	6.0%	67.2%	No	6.0%	67.2%	No	3.7%	69.5%	No	3.1%	70.1%
Húmedo		IPE 1 mes		IPE 3 meses		IPE 6 mes		IPE 1 2 mes				
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No			
Res N°39-1984	Si	6.5%	10.6%	Si	10.0%	7.1%	Si	11.9%	5.1%	Si	10.3%	6.7%
	No	12.6%	70.3%	No	10.1%	72.8%	No	7.6%	75.3%	No	8.8%	74.2%

870294

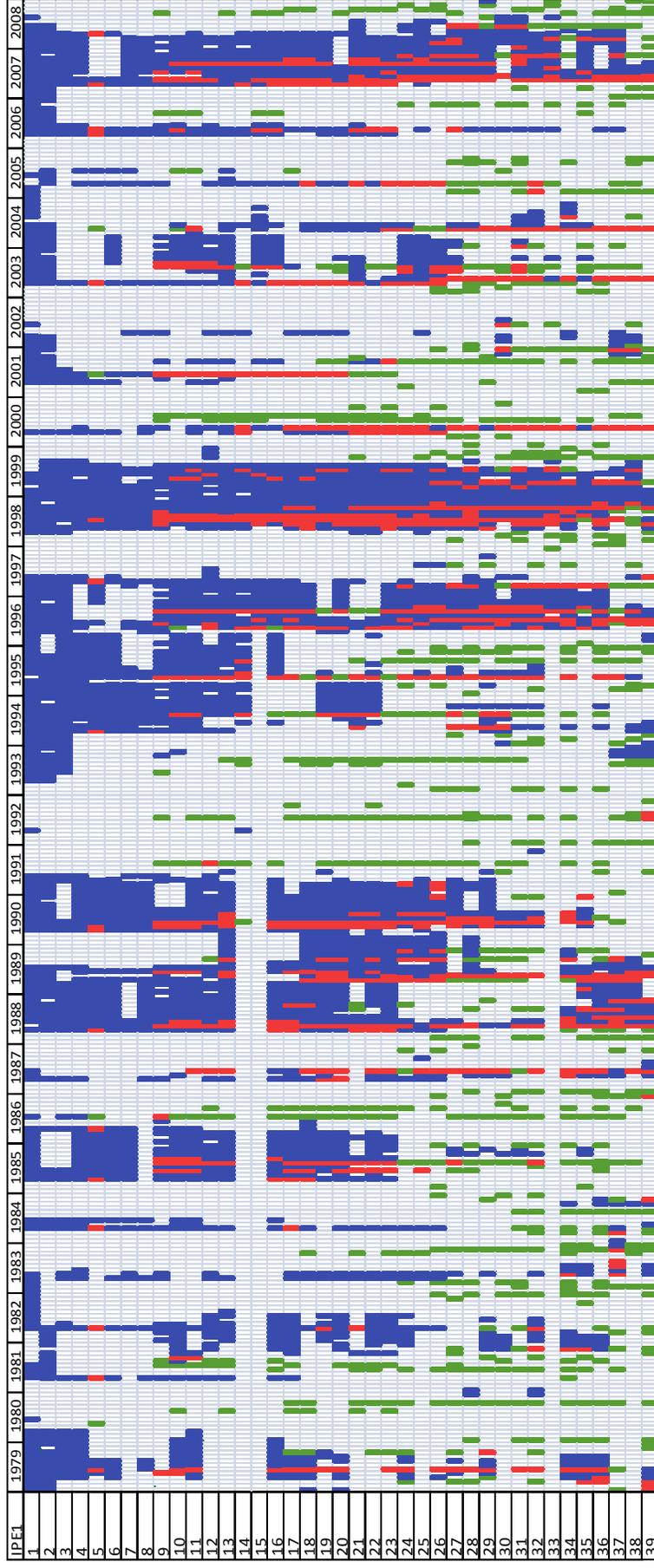


Figura 70: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 1 mes.

870294

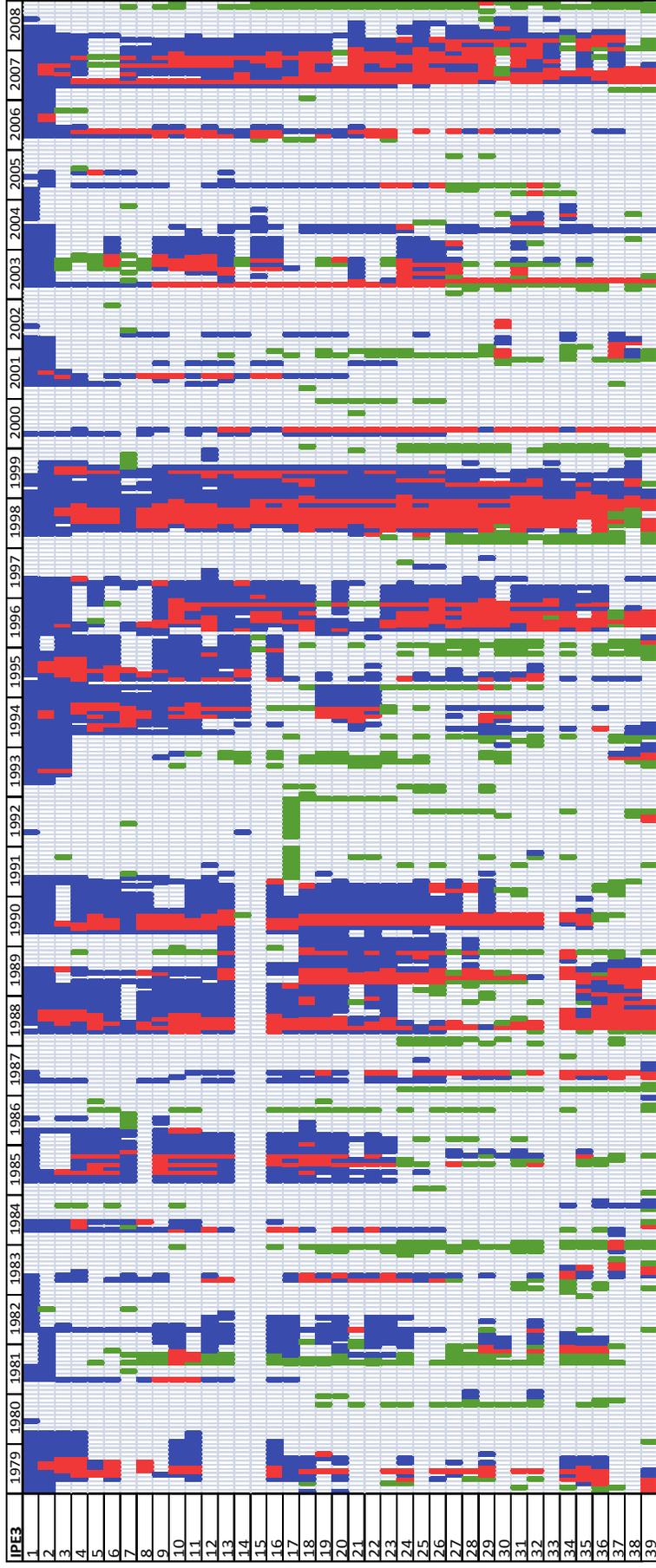


Figura 71: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 3 mes.

870294

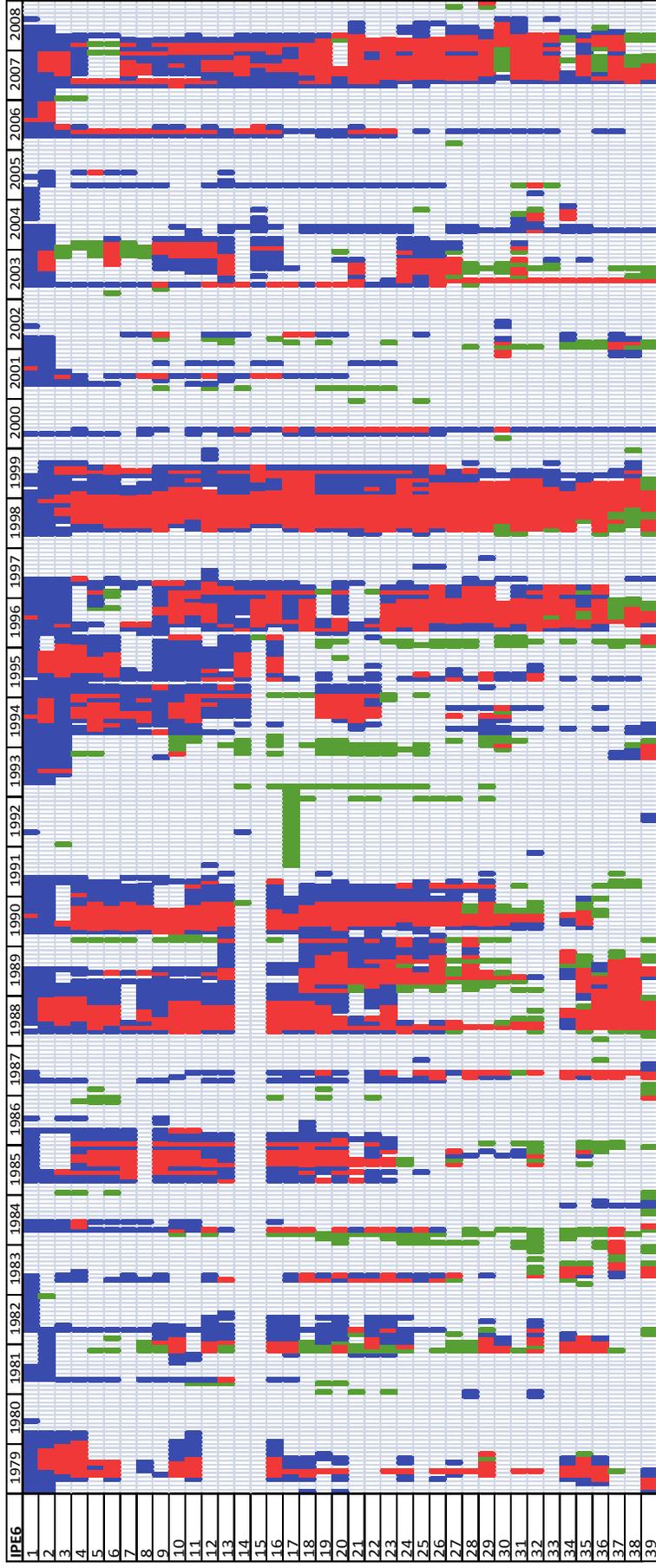


Figura 72: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 6 mes.

870294

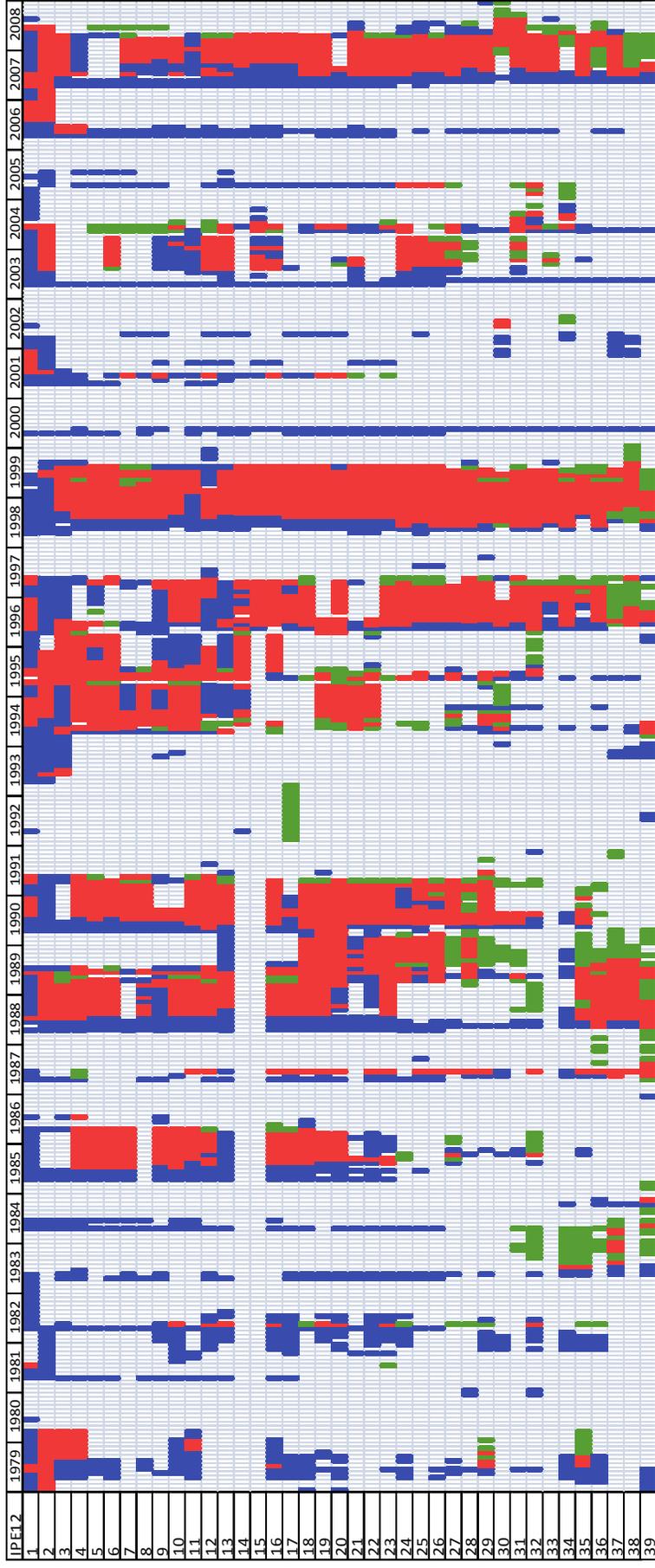


Figura 73: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 12 mes.

Se aprecia que entre el IPE1 y la Resolución existen muchas contradicciones, pero esas disminuyen para el IPE 6 y el IPE12. En la última figura de la serie, la cantidad de celdas en rojo es muy numerosa y las celdas en azul se concentran en la zona norte en las cuales con la resolución se identifican sequías que no aparecerían con el IPE12, mientras hacia el sur habría errores “verdes”, cuando el IPE permite declarar sequías no detectadas por la Resolución.

- **Análisis ICE**

Siguiendo un procedimiento análogo al utilizado para el estudio y comparación del IPE con los criterios de la Resolución N°39, se analizaron las estaciones fluviométricas disponibles. En el análisis deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal medio estadístico se calculó con la serie de datos comprendidos entre 1978 y 2008.
- El cálculo de  $Q_{50}$  (Caudal medio) se realiza ajustando la serie de datos del periodo 1978-2007 a distribuciones empíricas, con las cuales se calcula el valor de precipitación con probabilidad de excedencia  $Q_{50}$ .

A fin de comparar la ocurrencia de sequías según el indicador ICE y la ocurrencia según la resolución actualmente en vigencia, se realizó el siguiente análisis gráfico para distintas estaciones, donde junto a las series de ICE para 6 y 12 meses, se incluyen los meses (como puntos) para los cuales existen eventos de sequía según el criterio de caudales de la Resolución N° 39.

## Estación Río Copiapó en la Puerta

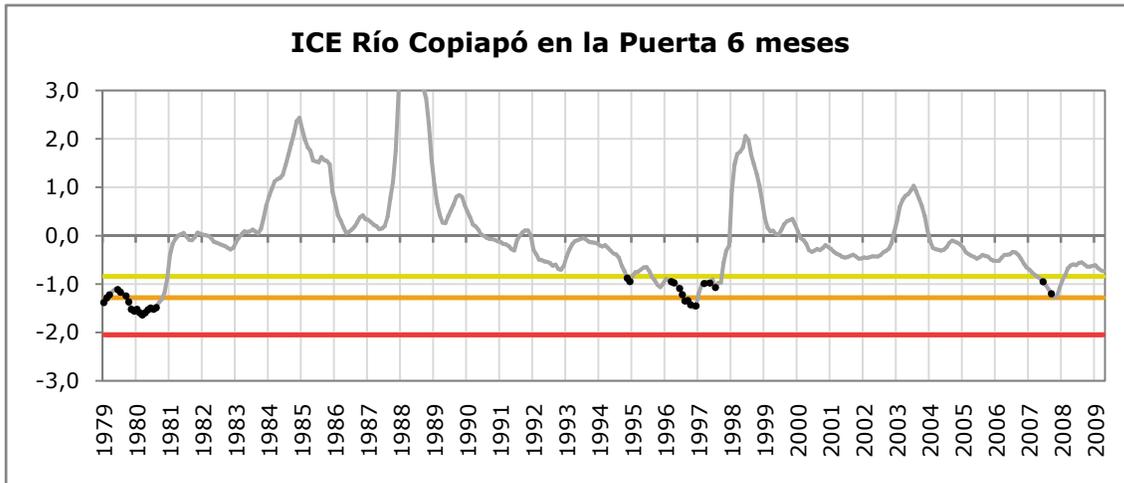


Figura 74: Serie de ICE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Copiapó en la Puerta.

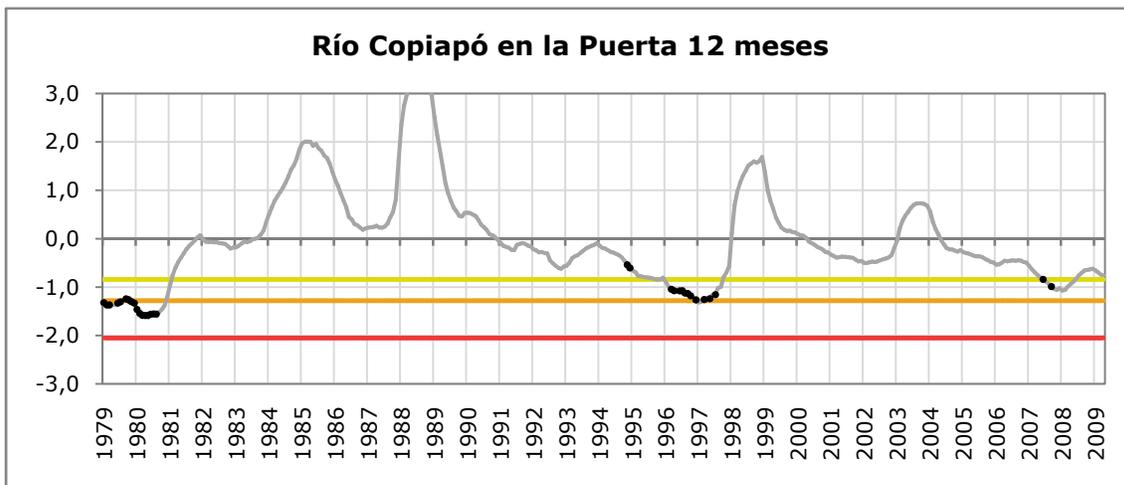


Figura 75: Serie de ICE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Copiapó en la Puerta.

## Estación Río Maipo en El Manzano

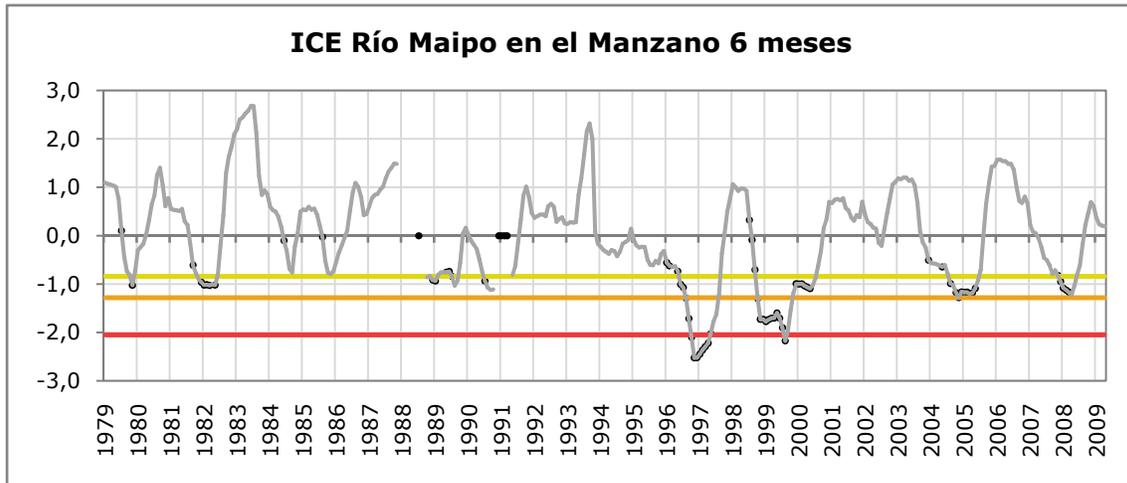


Figura 76: Serie de ICE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Maipo en el Manzano

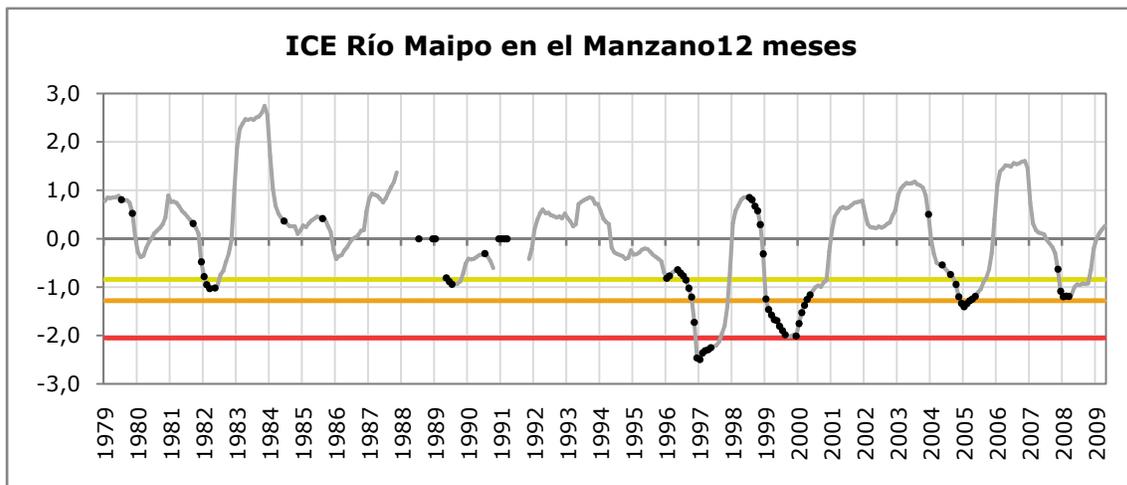


Figura 77. Serie de ICE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Maipo en el Manzano.

## Estación Tinguiririca bajo Los Briones

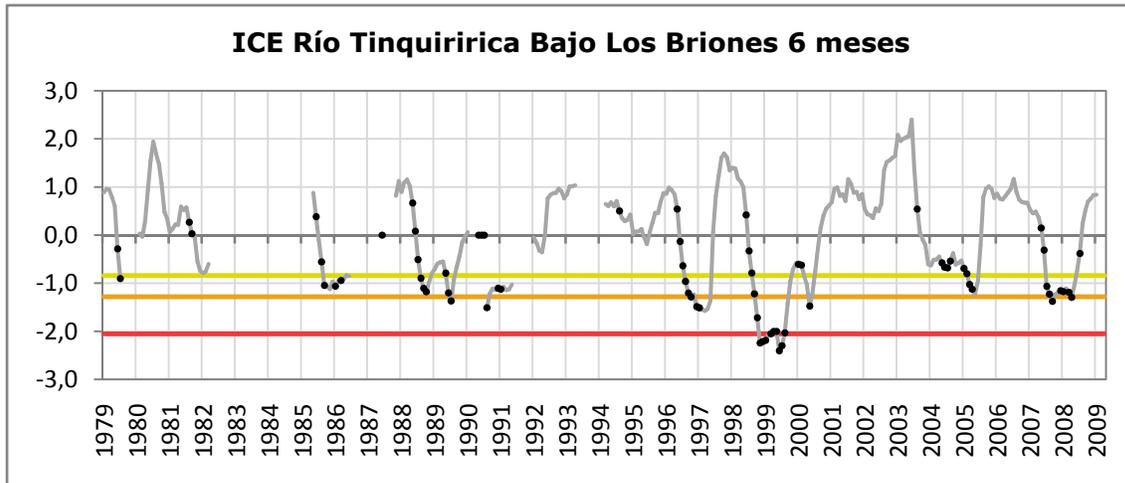


Figura 78: Serie de ICE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Tinguiririca bajo Los Briones.

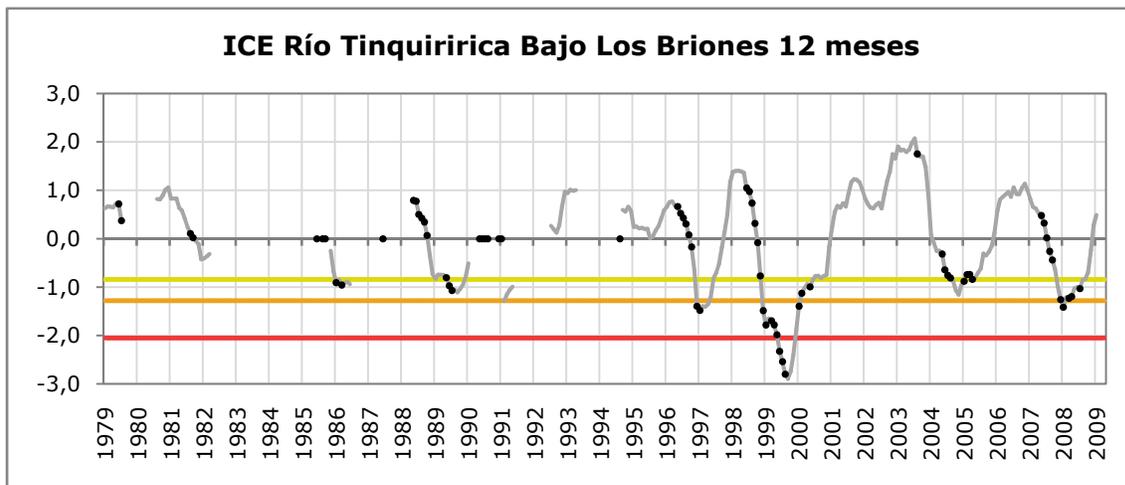


Figura 79: Serie de ICE de 12 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Tinguiririca bajo Los Briones.

## Estación Río Bío Bío en Rucalhue

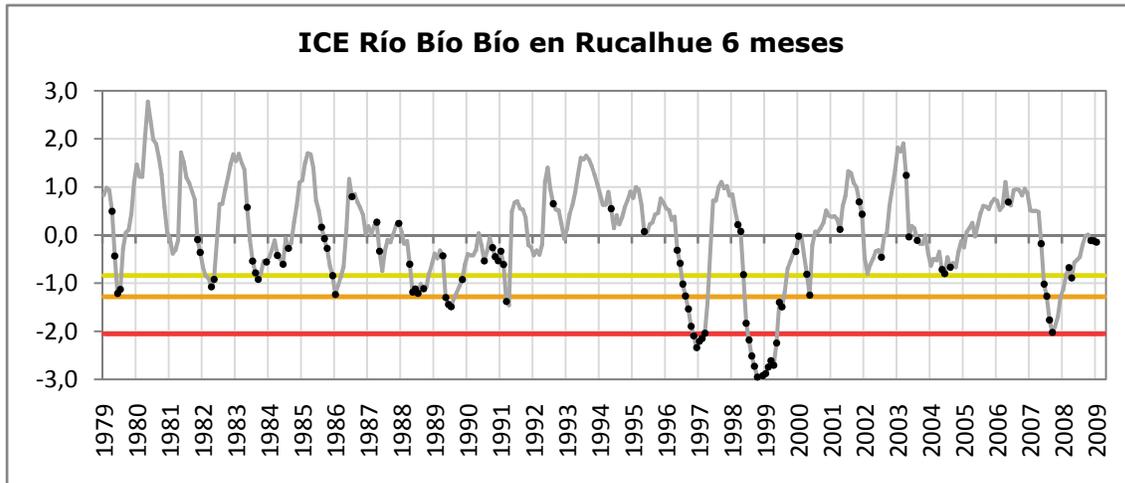


Figura 80: Serie de ICE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Bío Bío en Rucalhue.

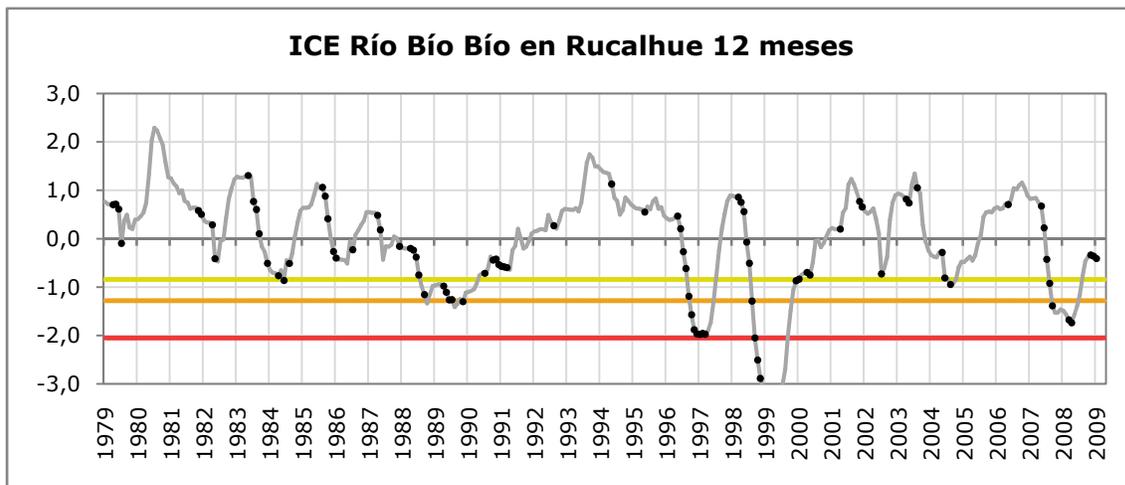


Figura 81: Serie de ICE de 6 meses y declaración de sequías según Resolución N°39 de 1984 en estación Bío Bío en Rucalhue.

Análogo al caso del IPE, se observa que existe un grado de similitud entre los meses a declarar sequía detectados según el criterio de caudales de la Resolución N°39 y el ICE para distintas duraciones. Si bien hay algunas ocasiones en que se estaría declarando una sequía según la resolución que no serían declaradas según el ICE (es decir meses con  $ICE > -0.84$ ), esto ocurre en mucho menor medida que para el caso del IPE previamente analizado. Adicionalmente no se percibe una gran diferencia en la comparación con ICEs de distintas series de tiempo (6 y 12 meses), lo que se explica por la menor variabilidad de este indicador dada la mayor dependencia temporal o “memoria” de los caudales.

Al igual que en el estudio del IPE, se vuelve a realizar un análisis en detalle del comportamiento de la Resolución y el indicador ICE para el último evento de sequía documentada por la DGA durante los años 2007-2008. La Tabla 43, muestra el número de estaciones en las cuales se desarrolló una condición de sequía según lo establecido por la Resolución N°39 y el IPE para distintas duraciones. Se observa que las cantidades de estaciones en las que se cumple una condición de sequía según el ICE para distintas series de tiempo es menos variable que para el caso del IPE, y que dichas cantidades son más similares al número de estaciones identificadas utilizando la resolución.

Tabla 43: Cantidad de estaciones que cumplen con la condición de sequía hidrológica.

	Evento sequías 2007-2008					
	Nov-07	Dic-07	Ene-08	Feb-08	Mar-08	Abr-08
Res N° 39 de 1984	9	19	19	18	20	20
ICE 12 meses	15	19	21	20	20	20
ICE 6 meses	16	16	16	12	10	16
ICE 3 meses	9	8	10	14	17	22
ICE 1 mes	8	10	13	17	20	18

La Tabla 44 muestra el número de estaciones coincidentes. Al contrario de lo ocurrido con el IPE, no se observa una fuerte dependencia entre la cantidad de estaciones comunes a las obtenidas con la resolución, y la serie de tiempo usada para el cálculo del ICE. Sin embargo, se puede concluir que existe una gran similitud entre los resultados de la Resolución N°39 y los originados a partir del ICE para 1 mes, siendo en los meses de enero y diciembre donde se producen las mayores diferencias. Esta similitud se debe a que la resolución considera como dato de comparación el caudal medio mensual del mes anterior, detectando anomalía mensualmente y no en función de los promedios históricos, como es el caso de ICE para series de tiempo mayores a 1 mes.

Tabla 44: Resumen de la cantidad de estaciones que coinciden con declaración de sequía según resolución e indicador ICE.

	Meses coincidentes con resolución					
	Nov - 07	Dic - 07	Ene - 08	Feb - 08	Mar - 08	Abr - 08
ICE 12 meses	7	15	16	14	16	17
ICE 6 meses	5	12	12	11	9	14
ICE 3 meses	5	8	10	13	16	20
ICE 1 mes	7	10	13	15	20	17

Finalmente, los meses a declarar sequía según la Resolución N°39 y el ICE de distintas duraciones para cada estación estudiada y cada mes del periodo 1979-2008 pueden ser visualizados mediante la misma representación gráfica previamente introducida en la comparación con el IPE. Las próximas figuras corresponden al mapa de identificación de sequía según la Resolución N°39 (celda coloreada implica una declaración de sequía hidrológica) y según el ICE1, ICE3, ICE6 e ICE12. El código de colores usado para estos mapas es el mismo definido para el caso del IPE. Nuevamente, para el mapa obtenido con la Resolución N°39, las celdas con color corresponden a los meses en los cuales se debería declarar sequía. Por lo tanto, estos meses no necesariamente coinciden con aquellos en los cuales la DGA si había declarado sequía extraordinaria.

Nuevamente se aprecia una considerable similitud entre el mapa creado a partir de la resolución y los definidos a partir del ICE. Esta similitud es más significativa cuando se considera el ICE de 1 mes, confirmando lo mencionado anteriormente en lo referido al número similar de meses en los cuales se identificaría una sequía si se usara el ICE y la resolución. Es interesante también notar como a medida que se considera un tiempo más extenso en el cálculo de las series de ICE, se generan eventos de sequías de mayor duración e intensidad (mayor número de celdas adyacentes coloreadas, en particular de color naranja y rojo).



Figura 82: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de declaración de sequías según la Resolución 39 de 1984.

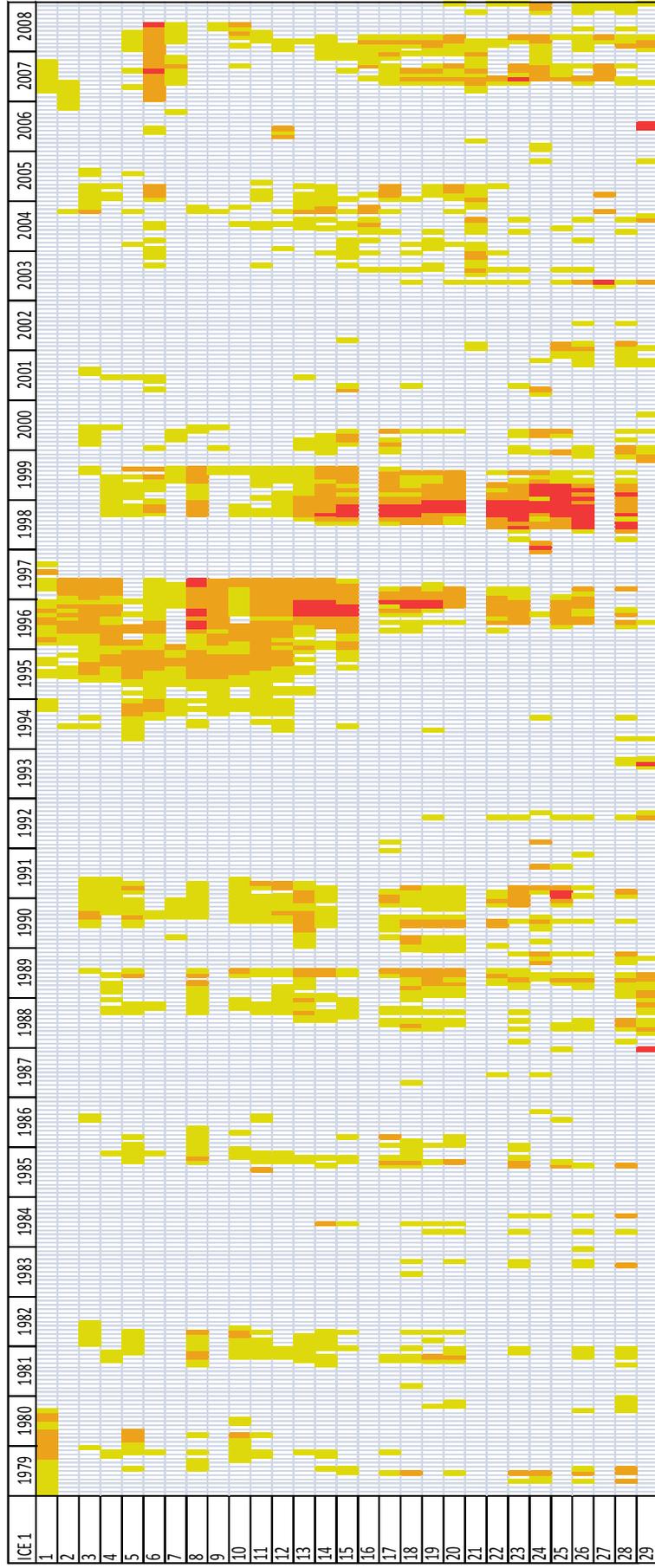


Figura 83: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de ICE de 1 mes.

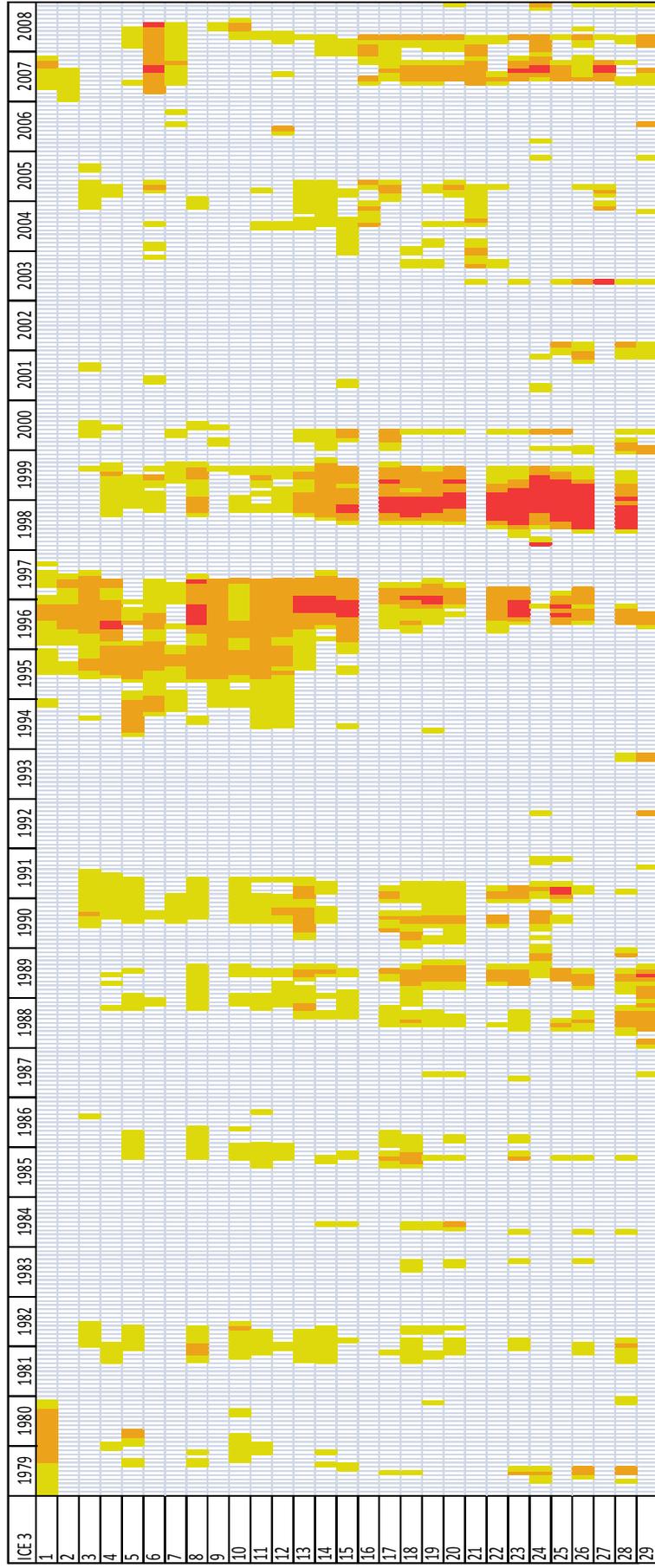


Figura 84: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de ICE de 3 mes.

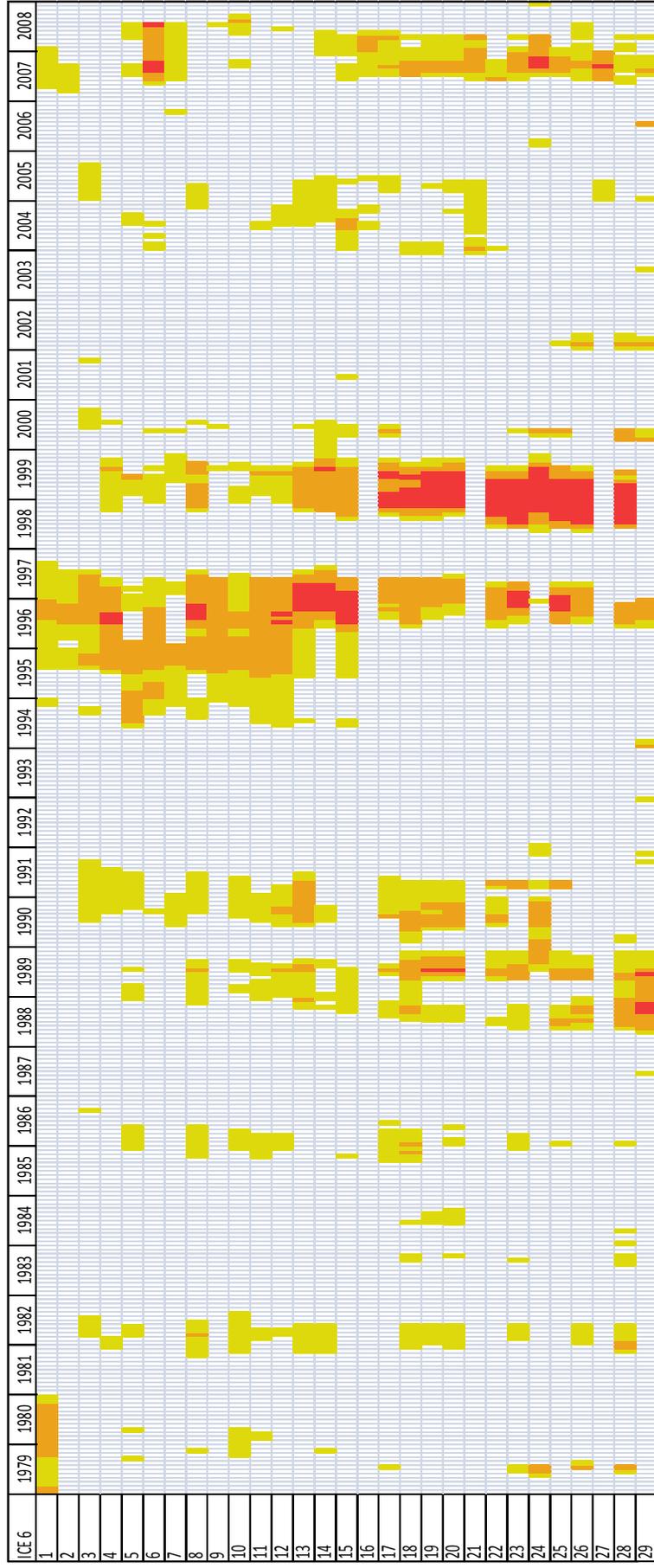


Figura 85: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de ICE de 6 mes.

870294

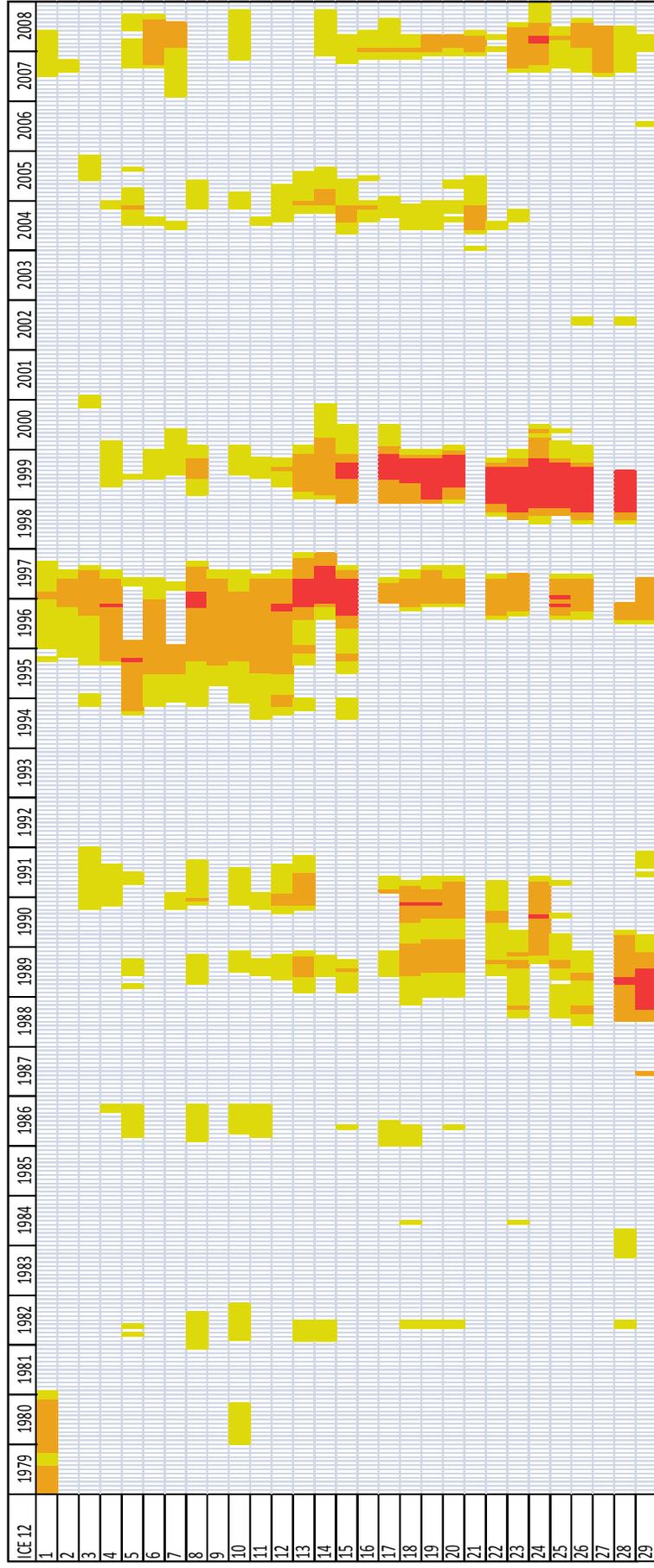


Figura 86: Series espacio (estaciones de norte a sur) – temporales (1979-2008) de ICE de 12 mes.

Se puede determinar el grado de similitud de los mapas de identificación de sequía originados por la Resolución y los ICEs de distintas duraciones. Para tal propósito en los mapas de las páginas siguientes se representan mediante la misma convención de colores definida para el caso de los IPEs la ocurrencia simultánea de las estaciones y meses del periodo 1979-2008 en los cuales se debiese originar una declaración.

La Tabla 45 resumen los resultados obtenidos de la comparación. Analizando la totalidad de las estaciones, se observa que el porcentaje de coincidencias entre los resultados originados por la resolución y los ICEs están en un rango entre 77.3% (ICE 12 meses) y 87.8% (ICE 1 mes). Esto ratifica que los ICE para series de tiempo de menor duración generan resultados más similares a los de la resolución. Un análisis general por regiones climáticas no muestra una dependencia clara de los resultados con las zonas climáticas.

Tabla 45: Resumen del nivel de congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y los indicadores ICEs.

Total	ICE 1 mes		ICE 3 meses		ICE 6 meses		ICE 12 meses	
	si	no		si	no		si	no
Res N°39-1984	Si 18,2%	9,5%	Si 16,4%	11,3%	Si 14,6%	13,3%	Si 11,9%	15,9%
	No 2,7%	69,6%	No 3,9%	68,4%	No 5,2%	67,0%	No 6,7%	65,4%

Semiárido	ICE 1 mes		ICE 3 meses		ICE 6 meses		ICE 12 meses	
	si	no		si	no		si	no
Res N°39-1984	Si 16,6%	8,0%	Si 15,6%	9,0%	Si 13,9%	10,7%	Si 11,4%	13,2%
	No 4,3%	71,1%	No 4,8%	70,6%	No 5,5%	69,9%	No 6,9%	68,5%

Mediterráneo	ICE 1 mes		ICE 3 meses		ICE 6 meses		ICE 12 meses	
	si	no		si	no		si	no
Res N°39-1984	Si 19,5%	10,6%	Si 17,3%	12,8%	Si 15,2%	15,0%	Si 12,3%	17,9%
	No 1,5%	68,3%	No 3,4%	66,5%	No 5,0%	64,8%	No 7,2%	62,7%

Húmedo	ICE 1 mes		ICE 3 meses		ICE 6 meses		ICE 12 meses	
	si	no		si	no		si	no
Res N°39-1984	Si 18,9%	10,8%	Si 16,1%	13,9%	Si 14,5%	16,3%	Si 12,6%	18,1%
	No 1,4%	68,9%	No 2,4%	67,6%	No 4,4%	64,8%	No 4,7%	64,5%

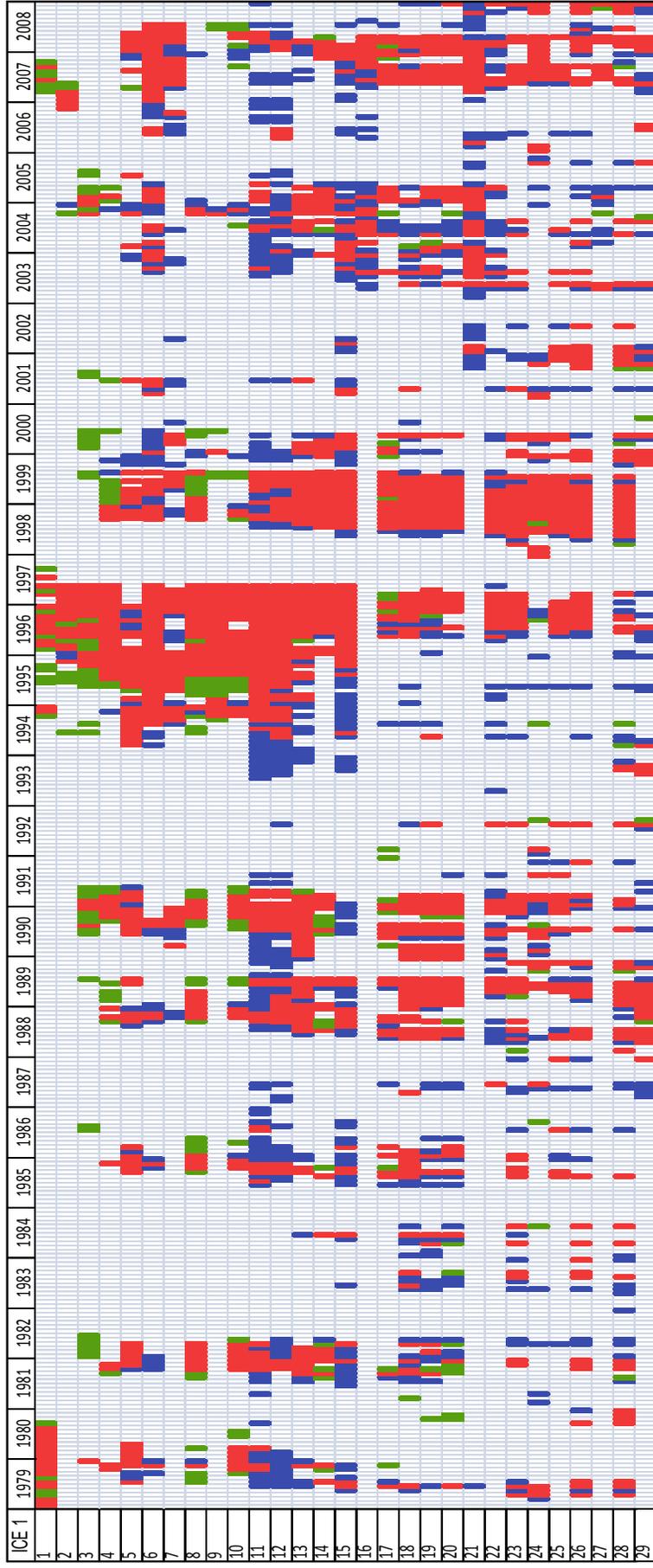


Figura 87: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador ICE de 1 mes.

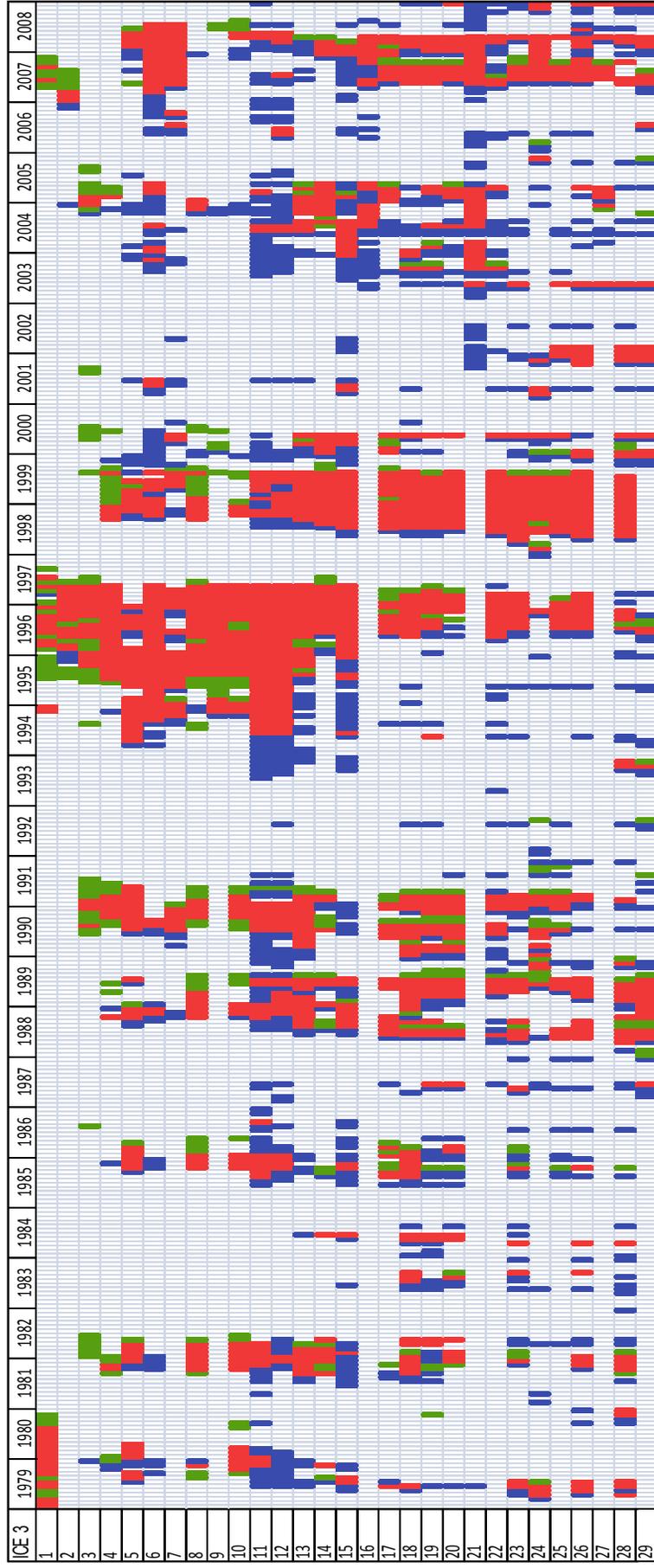


Figura 88: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 3 mes.

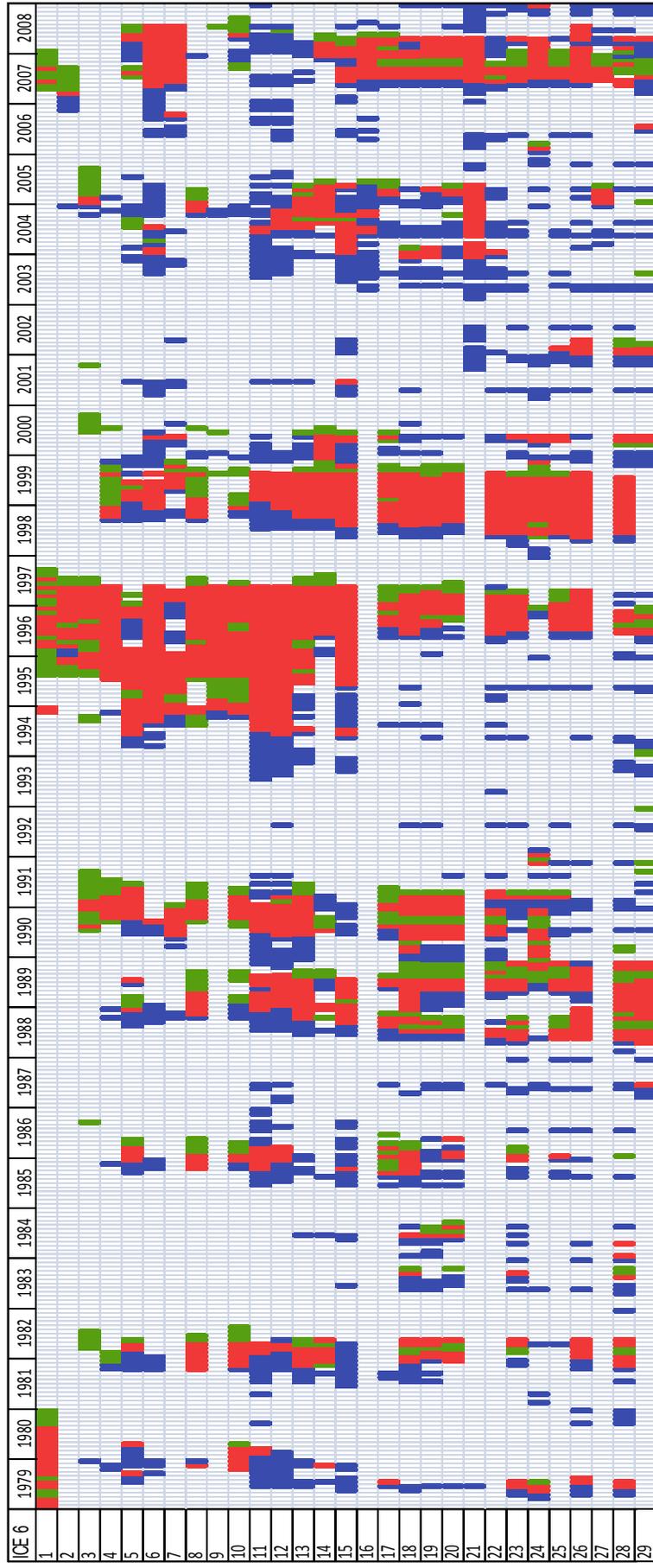


Figura 89: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 9 meses.

870294

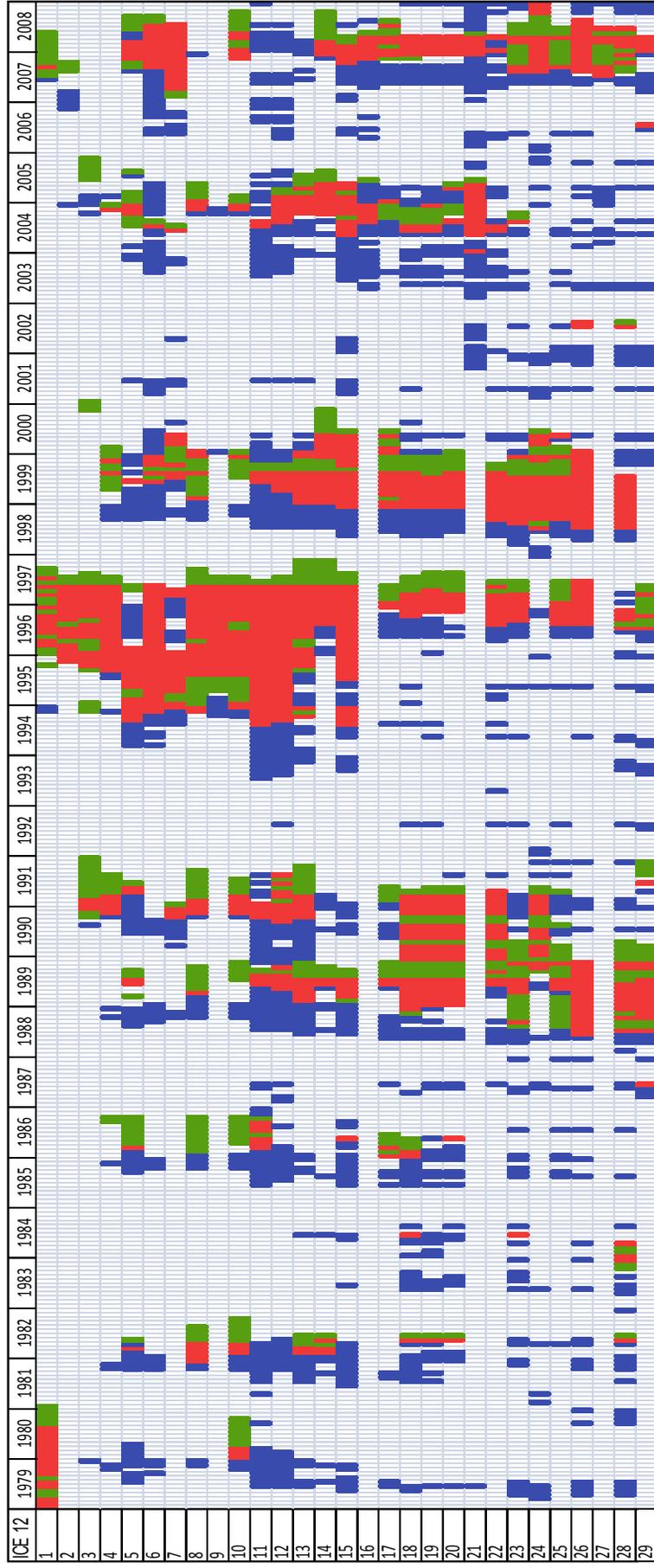


Figura 90: Congruencia entre los resultados generados por la Resolución 39 y el indicador IPE de 12 mes.

### 7.5.3 Valores regionales o por zonas para IPE e ICE

En la presente sección se estudia la variabilidad regional del comportamiento de los indicadores propuestos, de manera de determinar si existe alguna variabilidad regional de la magnitud de éstos y posibles implicancias en lo referido a la declaración de sequías extremas según un criterio basado en estos indicadores. En particular interesa determinar la dependencia entre la cantidad de eventos de sequía que se podrían declarar, la magnitud de los índices y el tipo de clima de la región afectada.

- **Análisis IPE**

Los siguientes gráficos muestran el número de eventos de sequía meteorológica que se identifican para las 50 estaciones en estudio a lo largo del país de norte a sur durante el periodo 1979-2008. El análisis se realizó utilizando el IPE1, IPE3, IPE6 e IPE12. En este análisis un “evento de sequía meteorológica” es definido como un período consecutivo de meses en el cual el valor del IPE es siempre inferior a un cierto valor. Los valores del IPE que se utilizaron para generar estos eventos fueron los definidos para la generación de los rangos seco, muy seco y extremadamente seco, es decir valores IPE = -0.84, -1.28 y -2.05. Adicionalmente se ha agregado los umbrales IPE = -1 y -1.5 como valores intermedios.

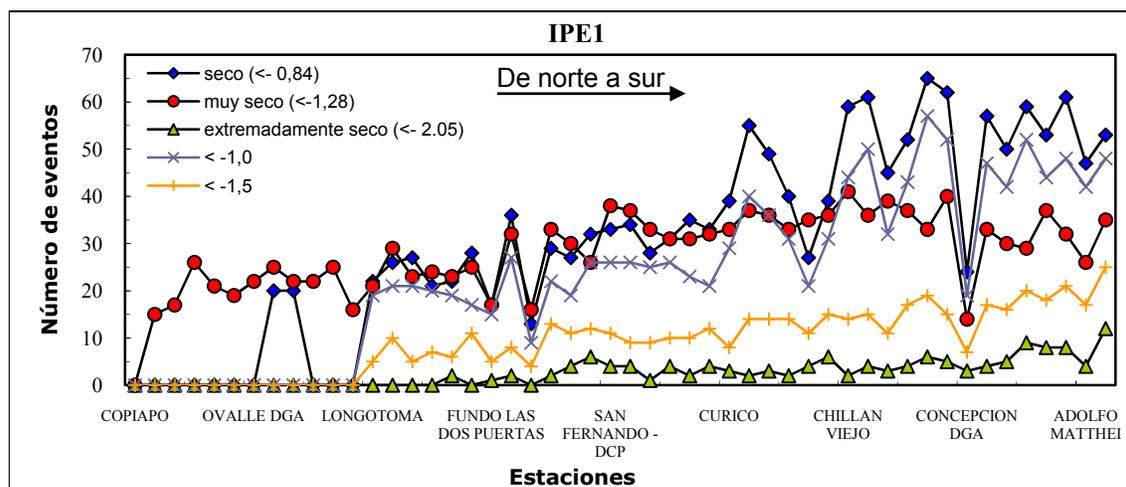


Figura 91: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de IPE1, para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

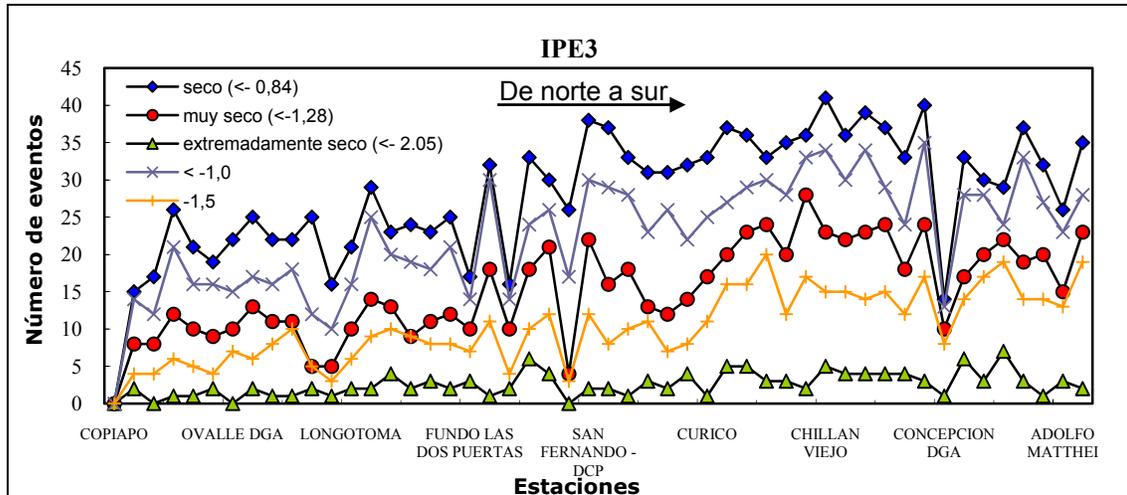


Figura 92: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de IPE3 para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

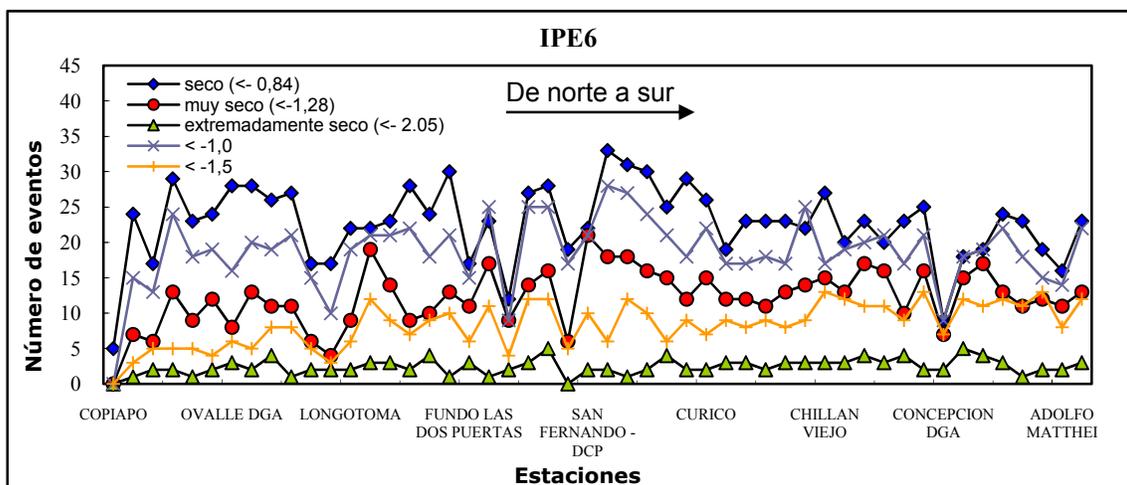


Figura 93: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de IPE6 para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

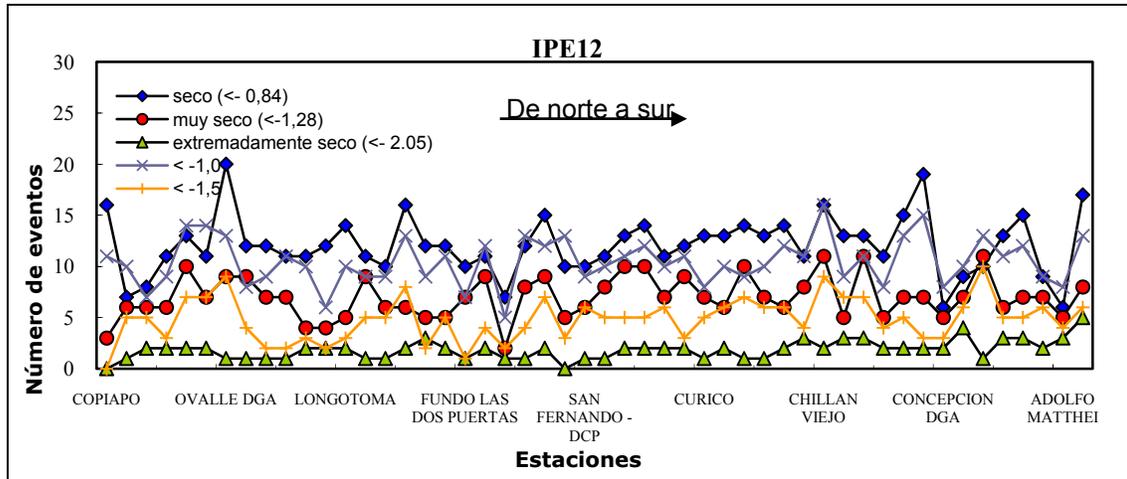


Figura 94: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de IPE12 para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

Se puede apreciar que el IPE1 y 3 producen cantidades de eventos variables y crecientes hacia el sur, mientras el IPE 6 y el IPE 12 producen un número de eventos similares a lo largo de todo el territorio nacional. Por lo tanto, parece razonable que el valor que determine una sequía extraordinaria a partir de este indicador, debiese ser único a lo largo de todo el territorio nacional. En el caso del IPE6, si bien también existe cierta homogeneidad en el número de eventos para todas las estaciones, se puede ver que a partir de la zona de San Fernando se produce una pequeña alza, así como también una reducción en la variabilidad en torno al valor medio (esto es más fácil de distinguir para el caso de aquellos eventos cuyos IPEs son menores a  $-1,28$ ,  $-1,5$  y  $-2,05$ ). Es interesante notar que entre Copiapó y San Fernando, el número promedio de eventos cuyo IPE6 es menor a  $-1,28$  es de 10,72, mientras que desde San Fernando hacia el sur, el número promedio de eventos cuyo IPE es menor a  $-1,5$  es de 9,92, un valor muy similar.

La Tabla 46 resume el número promedio de eventos a nivel nacional originados según distintos valores umbrales del indicador IPE1, IPE3, IPE6, IPE12.

Tabla 46: Resumen del número promedio de eventos a nivel nacional bajo el umbral definido según rango e indicadores IPE en el periodo 1978-2007.

	N° de Eventos en promedio bajo el umbral				
	< -2.05 (Extremadamente seco)	< -1,5	< -1.28 (Muy seco)	< -1	< -0.84 (Seco)
IPE 1	2,7	9,3	28,1	23,8	30,6
IPE 3	2,5	10,3	15,2	22,6	28,1
IPE 6	2,4	8,4	12,2	18,7	22,7
IPE 12	1,8	4,8	7,0	10,5	12,1

Por otra parte, se puede ver que el IPE 1 y el IPE 3 producen un número de eventos que tiende a ser creciente para estaciones ubicadas más al sur. Lo anterior es más claro en el caso del IPE 1. En general, se detecta un cambio importante en la tendencia a la altura de San Fernando. Si bien se ha preferido no considerar el IPE 1 y el IPE 3 en la resolución final, vale la pena mencionar que, en promedio, un valor de IPE3 de -1,28 produce 10,96 eventos de sequía hasta San Fernando, mientras que un valor de -1,6 produce 11,24 eventos de sequía entre San Fernando y Puerto Montt. Por lo tanto, al considerar eventualmente IPE3 en la resolución, los umbrales podrían ser los valores ya mencionados.

A continuación se realiza una comparación gráfica del número de eventos que se producen para distintos valores umbrales del IPE (i.e., -0,84; -1, -1,28, -1,5; -2,05) a lo largo del territorio nacional. El objetivo es determinar la cantidad promedio de eventos de sequía meteorológica que se tendría según distintos valores que se pudiesen elegir del IPE para declarar una sequía extrema.

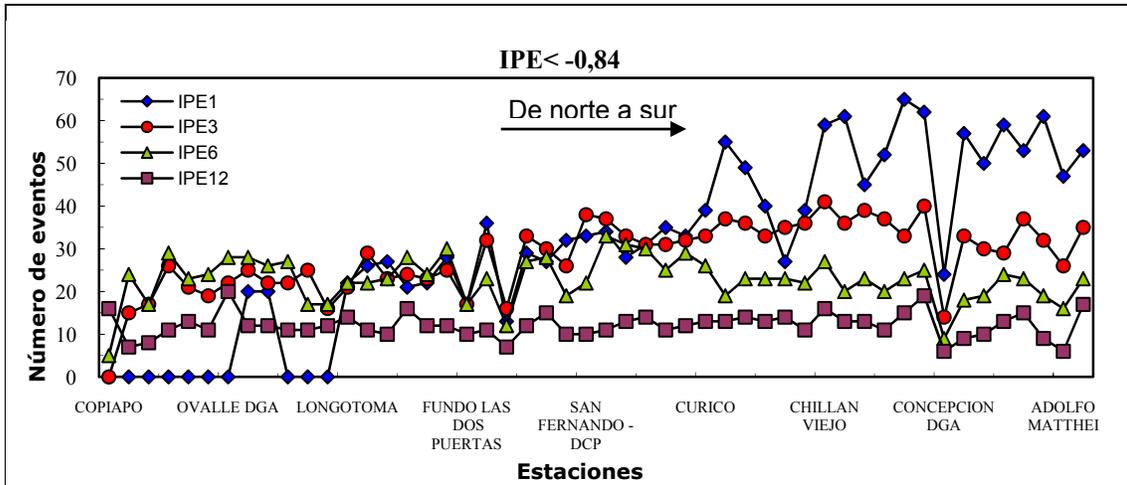


Figura 95: Número de eventos que se producen para un umbral de IPE de -0,84 a lo largo del territorio nacional.

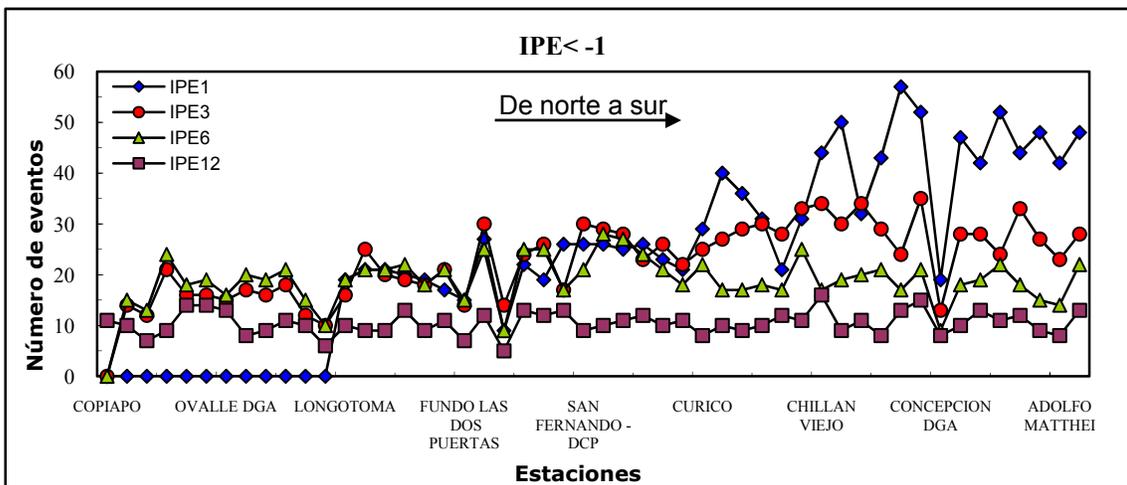


Figura 96: Número de eventos que se producen para un umbral de IPE de -1 a lo largo del territorio nacional.

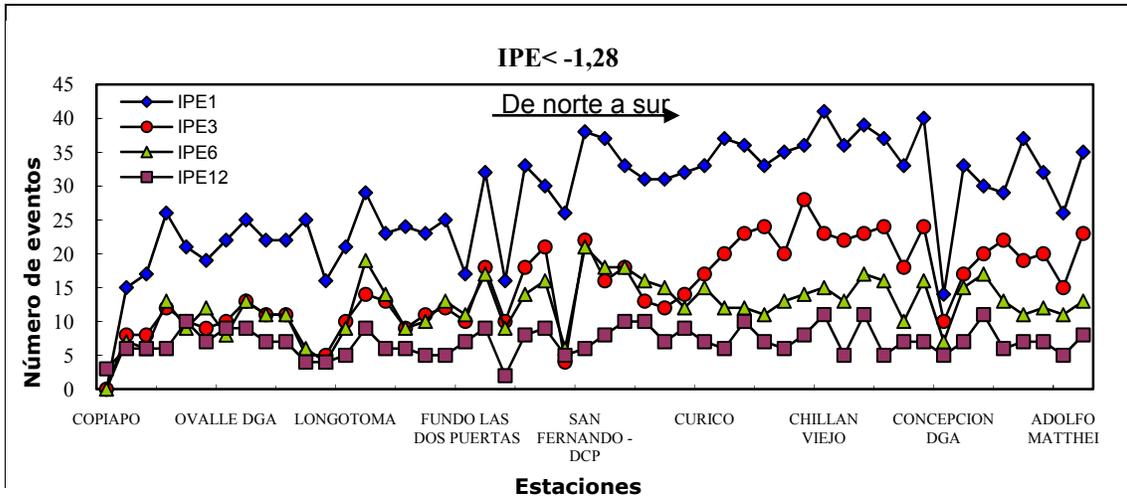


Figura 97: Número de eventos que se producen para un umbral de IPE de -1.28 a lo largo del territorio nacional.

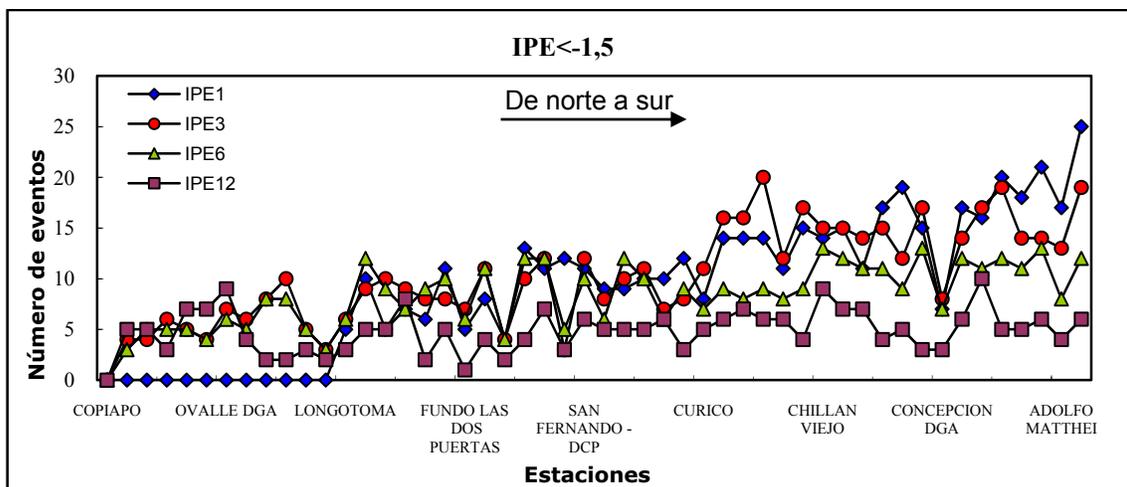


Figura 98: Número de eventos que se producen para un umbral de IPE de -1.5 a lo largo del territorio nacional.

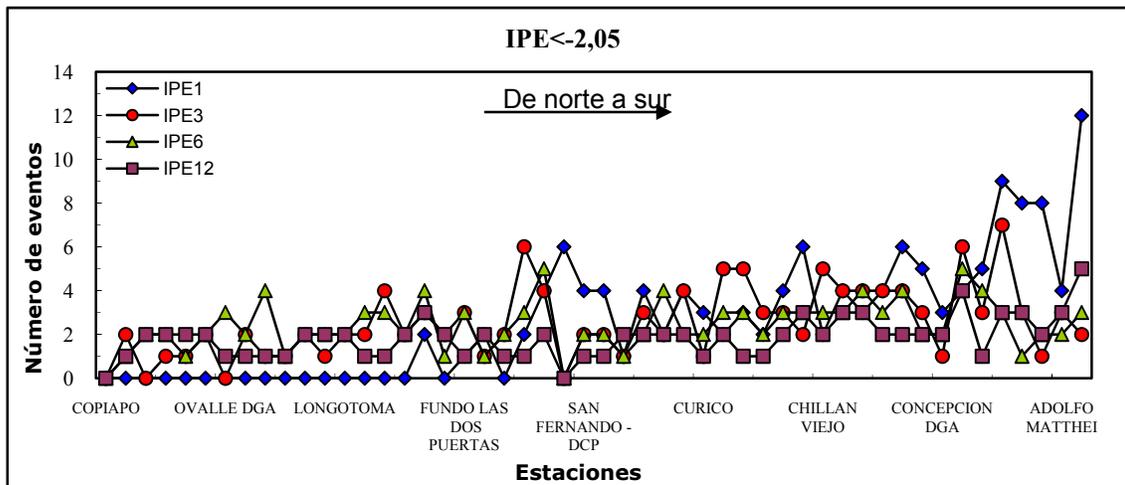


Figura 99: Número de eventos que se producen para un umbral de IPE de -2.5 a lo largo del territorio nacional.

De las figuras anteriores se confirma que el IPE 12, produce la misma cantidad promedio de eventos a lo largo del país sin importar el valor que se utilice como umbral para definir eventos de sequía extrema. Se aprecia, además que un valor umbral de IPE6 = -1,5 produce aproximadamente 10 eventos secos de San Fernando al sur, mientras que hacia el norte, un valor del IPE 6 = -1,28 produce la misma cantidad de eventos.

Según los resultados previamente presentados, y considerando que la DGA declaró en promedio 3 eventos de sequía extraordinaria en el país en los últimos 10 años (lo que implica en promedio 9 eventos en 30 años), se proponen los valores umbrales del IPE 6 e IPE 12 de la siguiente tabla para declarar sequías extraordinarias. Estos valores homogenizan la situación a nivel nacional en términos del número de eventos a declarar y generan una cantidad de eventos comparable a los identificados en el pasado reciente.

Tabla 47: Cuadro resumen para valores umbrales de IPE en zonas identificadas

	Desde extremo norte hasta región VI	Desde región VII hasta extremo sur
IPE 6	-1,28	-1,5
IPE 12	-1	-1

Una ventaja adicional del IPE 12 sobre los de otras duraciones es que permite utilizar un valor de umbral único en todo el país, lo que genera una sana sensación de uniformidad de criterios.

Finalmente, y con el objetivo de validar la calidad de los resultados previamente obtenidos, se presenta un gráfico que muestra el número de meses con datos de precipitación medidos en cada una de las estaciones. En general los registros son bastante completos y en muchas estaciones se cuenta con los 360 valores de precipitaciones mensuales. La excepción a esto son los registros de las estaciones Fundo Las Dos Puertas (211 meses), La Obra recinto EMOS (171 meses) y Concepción DGA (164 meses). Esta carencia de datos pareciera tener una incidencia parcial en el número de eventos de sequía extraordinaria identificada. Como es de esperarse, dicho efecto es más claro en el IPE 1 dado que este indicador no considera meses agregados. Sin embargo, incluso en el IPE 12 se distingue una caída importante en el número de eventos identificados en la estación Concepción DGA. Este análisis confirma la importancia de contar con registros pluviográficos completos ya que aseguran un apropiado cálculo de los indicadores.

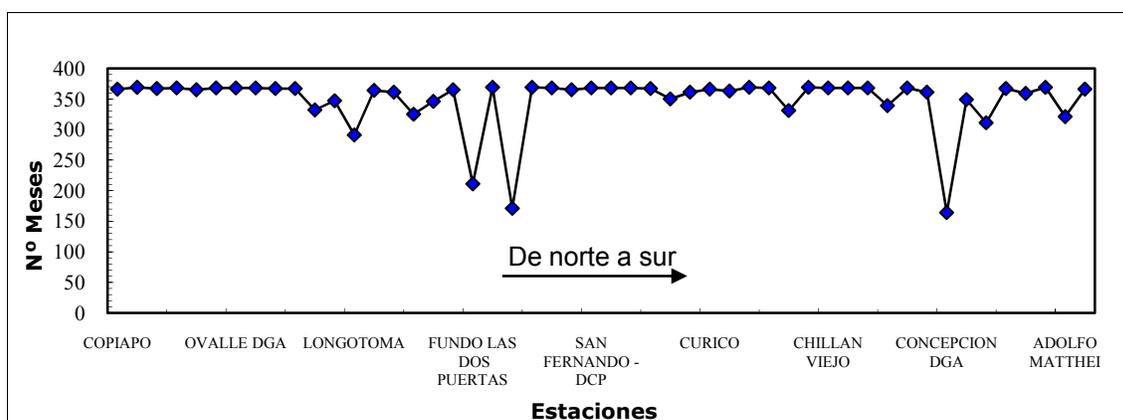


Figura 100: Número de meses con registro válido de precipitaciones

## Análisis ICE

Los siguientes gráficos muestran el número de eventos de sequía hidrológicas que se identifican para las estaciones en estudio a lo largo del país durante el periodo 1979-2008. El análisis se realizó utilizando el ICE1, ICE3, ICE6 e ICE12. Al igual que en el caso del IPE, en este análisis un “evento de sequía hidrológica” es definido como un periodo consecutivo de meses en el cual el valor del ICE es siempre inferior a un cierto valor. Los valores del ICE que se utilizaron para generar estos eventos fueron los definidos para la generación de los rangos seco, muy seco y extremadamente seco, es decir valores ICE = -0.84, -1.28 y -2.05. Adicionalmente se ha agregado los umbrales ICE = -1 y -1.5 como valores intermedios

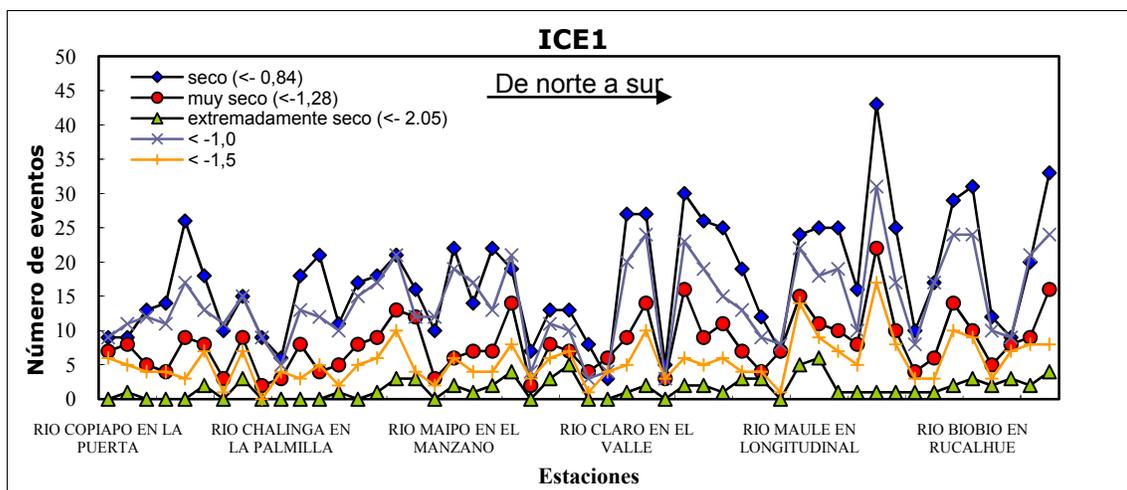


Figura 101: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de ICE1, para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

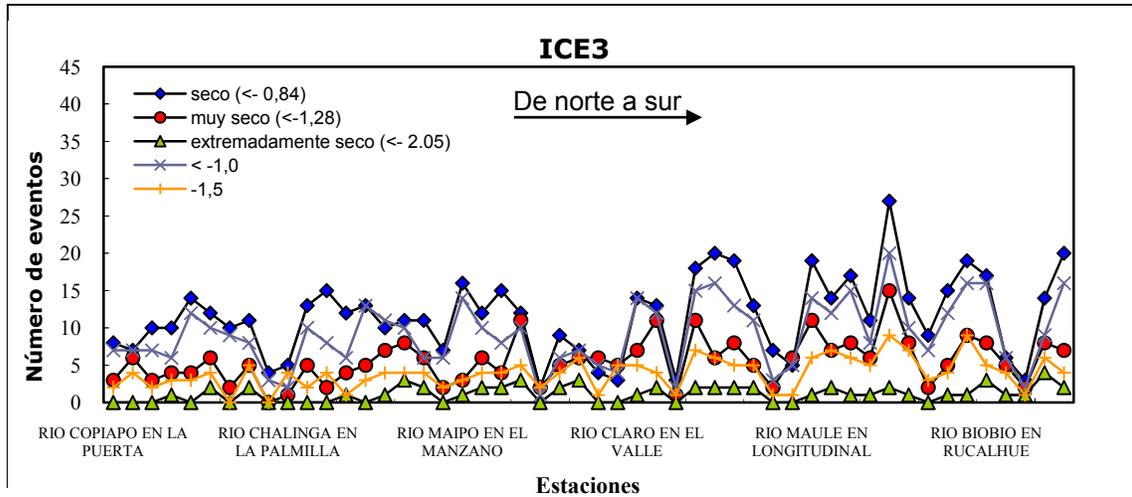


Figura 102: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de ICE3, para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

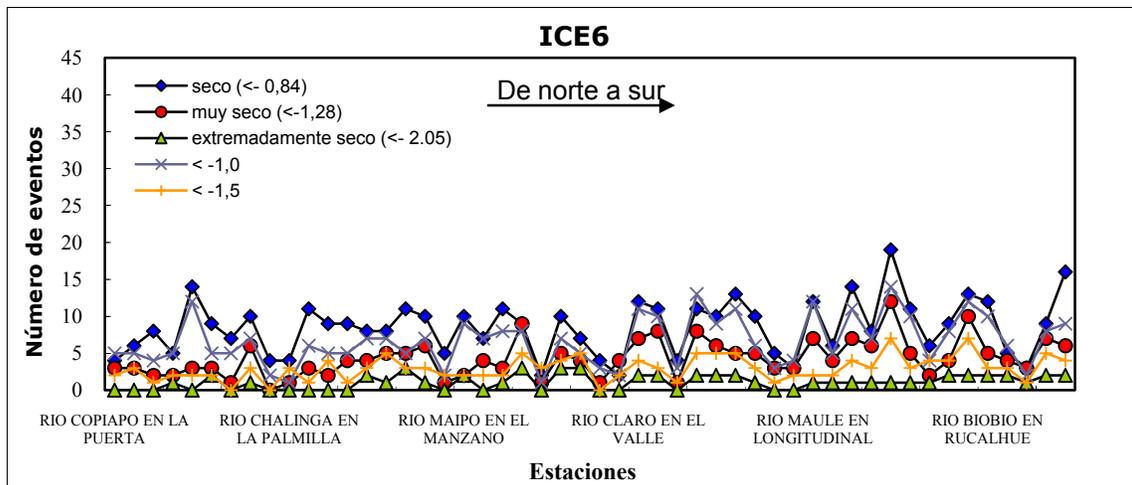


Figura 103: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de ICE6, para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

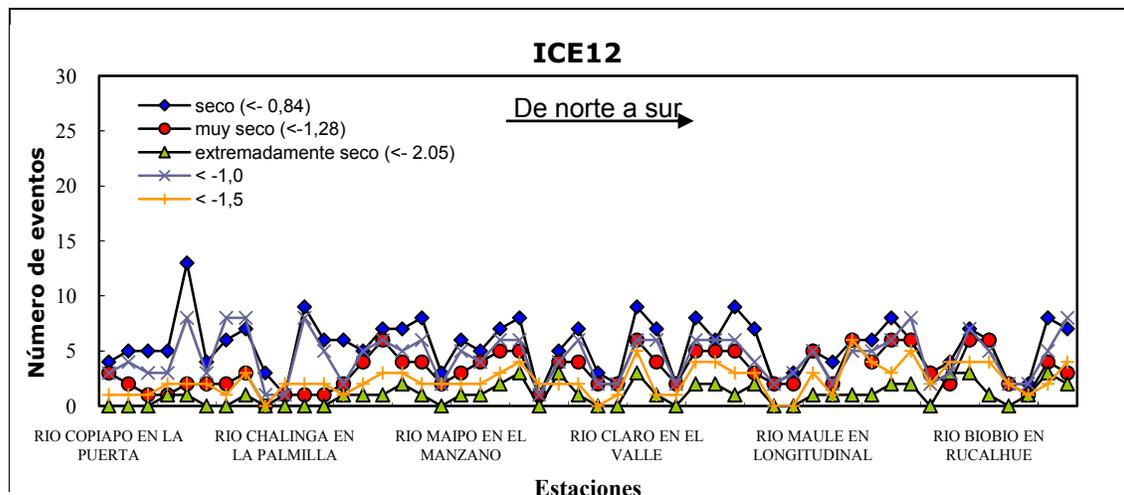


Figura 104: Número de eventos de sequías identificados con los indicadores de ICE12, para estaciones de norte a sur en el periodo 1978 a 2007.

Se puede apreciar que, en comparación con los resultados entregados por el IPE, para un mismo valor límite se ocasionan menos eventos de sequía hidrológica que de sequía meteorológica. Además pareciera ser que el número de eventos de sequía definido por un mismo valor límite del ICE es más homogéneo (o estacionario) a lo largo del país. Al igual que con las precipitaciones, esta homogeneidad es muy clara para el valor del ICE12. Al sur de San Fernando (vale decir, de la estación en el Río Teno hacia el sur) se observa un leve aumento en el número de eventos de sequía definidos por un valor común del ICE. Por ejemplo, el número de eventos promedios definido por un valor  $ICE6 = -1,28$  en la zona al norte de esta estación (3,4 eventos) es similar a la cantidad de eventos promedios definido por un valor  $ICE6 = -1,5$  al sur de dicha estación (3,6 eventos).

La Tabla 48 resume el número promedio de eventos a nivel nacional originados según distintos valores umbrales del indicador ICE1, ICE3, ICE6, ICE12.

Tabla 48: Resumen del número promedio de eventos a nivel nacional bajo el umbral definido según rango e indicadores ICE

	Nº de Eventos en promedio detonados bajo el umbral				
	< 2.05 (Extremadamente seco)	< -1,5	< -1.28 (Muy seco)	< -1	< -0.84 (Seco)
ICE 1	2,3	6,8	10,0	17,3	22,0
ICE 3	1,5	5,0	7,3	11,3	14,2
ICE 6	1,3	3,5	5,6	8,2	9,9
ICE 12	1,3	2,7	3,6	4,6	5,2

A continuación se realiza una comparación gráfica del número de eventos que se producen para distintos valores umbrales del ICE (i.e., -0,84; -1, -1,28, -1,5; -2,05) a lo largo del territorio nacional. El objetivo es determinar la cantidad promedio de eventos de sequía hidrológica que

se tendría según distintos valores del ICE que se pudiesen elegir para declarar una sequía extrema. Estos gráficos confirman que el ICE 12 produce la misma cantidad promedio de eventos a lo largo del país, sin importar el valor que se utilice para definir los eventos de sequía extraordinaria. Al mismo tiempo, los gráficos muestran un leve aumento del número de eventos de sequía para un mismo valor umbral del ICE3 e ICE6 a partir de la VII región.

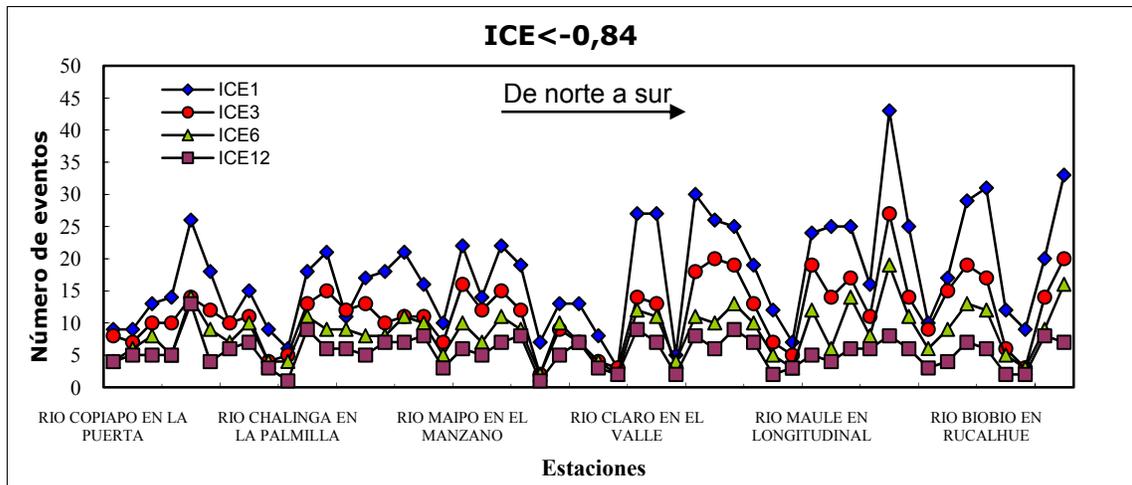


Figura 105: Número de eventos que se producen para un umbral de ICE de -0.84 a lo largo del territorio nacional.

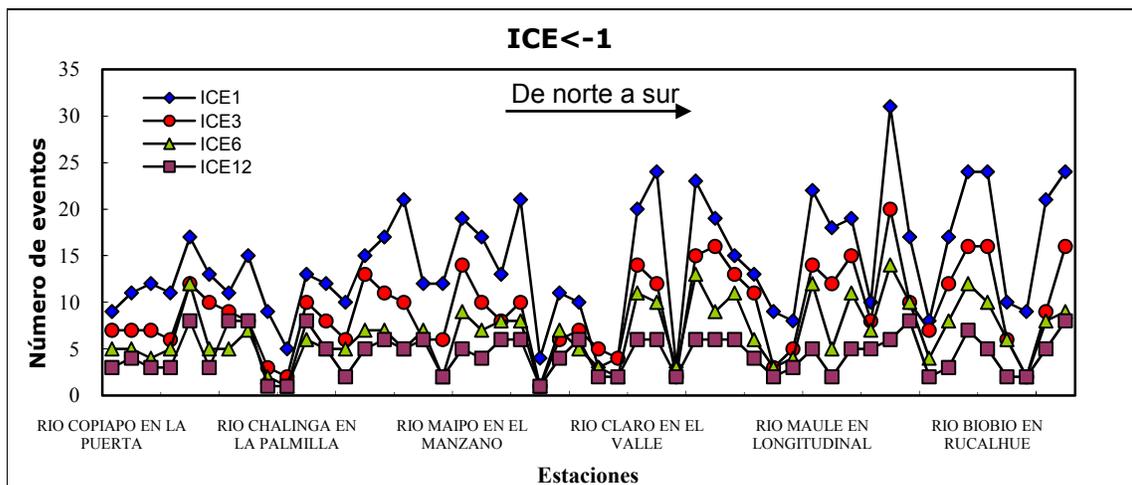


Figura 106: Número de eventos que se producen para un umbral de ICE de -1 a lo largo del territorio nacional.

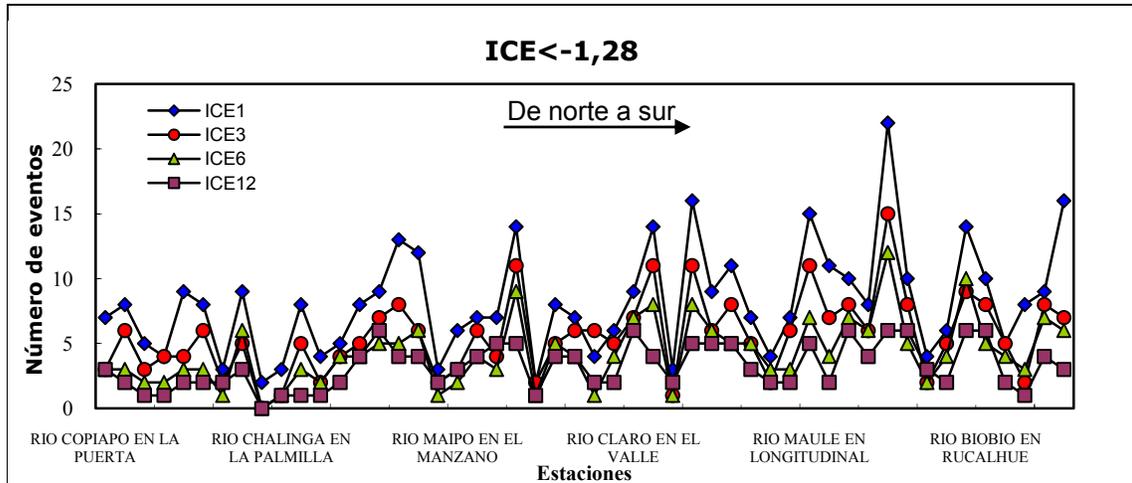


Figura 107: Número de eventos que se producen para un umbral de ICE de -1.28 a lo largo del territorio nacional.

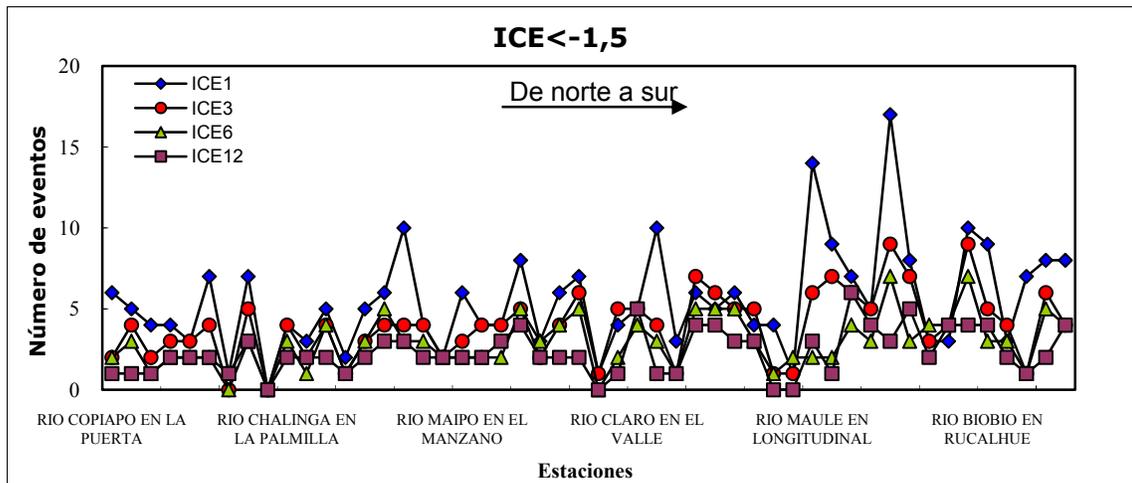


Figura 108: Número de eventos que se producen para un umbral de ICE de -1.5 a lo largo del territorio nacional.

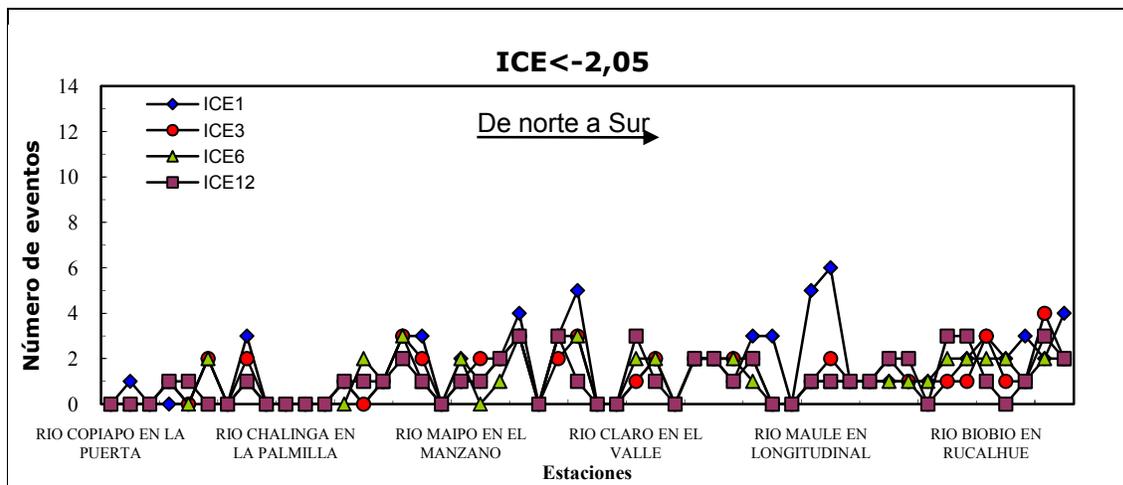


Figura 109: Número de eventos que se producen para un umbral de ICE de -2.05 a lo largo del territorio nacional.

Parece interesante y razonable, dada la correspondencia con la situación definida por el IPE, que los valores críticos del ICE se definan en forma distinta para las regiones I-VI, XV y XIII, y por otra parte las regiones desde la VII hacia el sur. Si se pensara en definir estos valores de manera tal que 2 o 3 veces cada 10 años se decrete una condición de sequía extraordinaria, se tendrían los siguientes valores del ICE 3, ICE 6 e ICE 12:

Tabla 49: Cuadro resumen para valores umbrales de ICE por zonas

	Desde extremo norte hasta región VI	Desde región VI hasta extremo sur
ICE 3	-1	-1,28
ICE 6	-0,84	-1
ICE 12	-0,84	-0,84

Otra opción es tratar de mantener el valor límite para definir una sequía, lo que tiene la gran ventaja de generar una situación pareja para todas las cuencas, en cuyo caso se debiera privilegiar el uso del IPE12, el cual presenta a mayor homogeneidad.

Finalmente, se presenta un gráfico que muestra el número de meses con datos de caudal medidos en cada una de las estaciones. Al contrario de lo que ocurre con los registros pluviales, los registros de caudales pueden ser bastante incompletos para una cantidad considerable de estaciones. Hay 11 estaciones que tienen menos de 200 meses de registro (menos del 56% del periodo de 30 años) y 5 de ellas tienen menos de 100 meses de registro.

Esta carencia de datos pareciera tener una incidencia parcial en el número de eventos de sequía extraordinaria identificada. Como es de esperarse, dicho efecto es más claro en el ICE1 dado que este indicador no considera meses agregados. Este análisis confirma la importancia de contar con registros hidrometeorológicos completos ya que aseguran un apropiado cálculo de los indicadores.

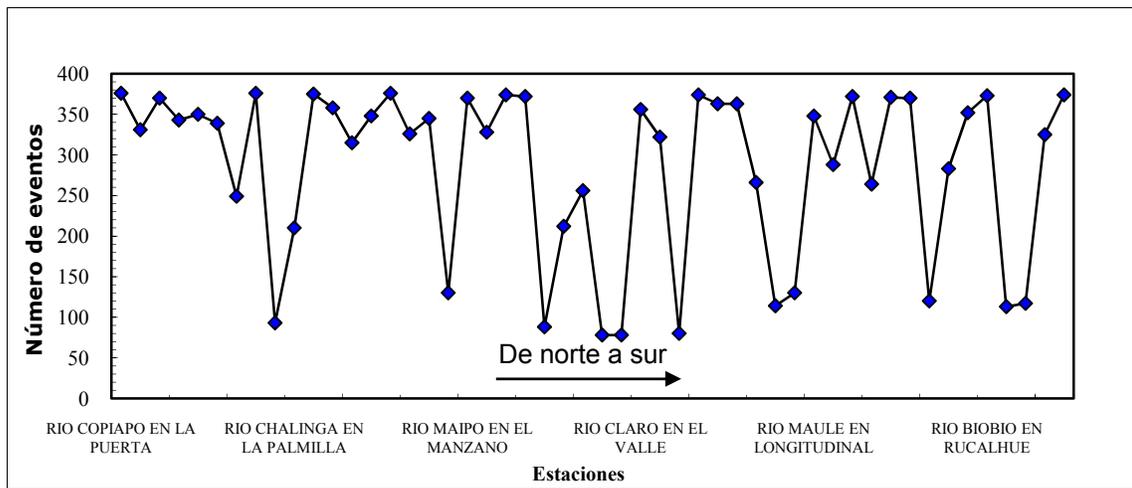


Figura 110: Número de meses con registro válido de caudales

## **8 PROPUESTA TÉCNICA PARA UNA NUEVA RESOLUCIÓN.**

A continuación se mencionan los aspectos técnicos básicos que debiera contener una resolución que remplace a la actual Resolución 39 de 1984.

1.- La presente Resolución reemplaza en todas sus partes a la Resolución DGA 39 del 9 de febrero de 1984 para fijar las condiciones hidrológicas determinantes para que se califique una época de sequía como extraordinaria, las cuales serán las siguientes para las diferentes regiones del país.

2.- Las condiciones que se señalan para cada zona del país pueden presentarse simultánea o separadamente.

3.- Los parámetros hidrológicos que servirán de base para determinar las condiciones a que se refiere la presente resolución, serán las precipitaciones totales mensuales y los caudales medios mensuales, medidos en estaciones de observación controlados por la Dirección General de Aguas u otras Instituciones oficiales encargadas de hacer mediciones hidrometeorológicas.

4.- Sobre la base de las precipitaciones mensuales se construirá un indicador designado como Índice de Precipitación Estandarizado, IPE, considerando las precipitaciones totales acumuladas del último mes, IPE1; de los últimos tres meses, IPE3; de los últimos 6 meses, IPE6 y de los últimos 12 meses, IPE12. Estos índices expresan las precipitaciones observadas como una variable normal estándar, de promedio cero y desviación típica uno, con lo cual es posible comparar las condiciones de diferentes situaciones meteorológicas en todo el país. Se construye para cada estación y registro de acuerdo a un procedimiento establecido por la DGA y descrito en general en el párrafo 7.

5.- En base a los caudales medios mensuales se construirá un indicador designado como Índice de Caudales Estandarizado, ICE, considerando los caudales medios acumulados del último mes, ICE1; de los últimos tres meses, ICE3; de los últimos 6 meses, ICE6 y de los últimos 12 meses, ICE12. Este índice expresa los caudales observados como una variable normal estándar, de promedio cero y desviación típica uno, con lo cual es posible comparar las condiciones de diferentes situaciones hidrológicas en todo el país. Se construye para cada estación y registro de acuerdo a un procedimiento establecido por la DGA y descrito en general en el párrafo número 7.

6.- Selección de información hidrometeorológica: se utilizan registros a nivel mensual de precipitación total y caudal medio, de una extensión de al menos 30 años. En caso de no disponerse de registros de tal extensión o de tener registros más largos pero incompletos, se recomienda el relleno de la información utilizando un método estadístico especialmente definido para este propósito.

7.- Cálculo de indicadores: Se obtienen series de 1, 3, 6 y 12 meses, sumando los totales de precipitación del mes que se calcula, más los meses anteriores que correspondan para completar el número de meses de la escala de tiempo. Se descomponen mensualmente las series totales,

obteniéndose 12 series mensuales en cada serie temporal, correspondiente a los 12 meses del año. Los registros mensuales son ajustados a una distribución gamma y se calculan sus parámetros. Se deben obtener los parámetros de la distribución para cada mes y para cada escala temporal (1, 3, 6 y 12 meses). Se debe considerar si las series de precipitaciones o caudales contienen valores ceros, sobre todo en el caso de precipitaciones mensuales en zonas áridas y semiáridas. En estos casos la función de probabilidad acumulada quedará compuesta por la probabilidad de ocurrencia de eventos de valor cero y la probabilidad de ocurrencia de eventos distintos de cero. La probabilidad acumulada es transformada en una variable normal estándar con media 0 y desviación estándar 1, obteniéndose así el IPE o ICE.

8.- Las condiciones de estos indicadores, IPE e ICE, que definen diferentes situaciones hidrometeorológicas son las siguientes:

Valor del IPE o ICE	Prob. de ocurrencia	Calificación
$\leq -1.04$	0,15	Sequía Extraordinaria
-1.04 a 1.04	0,70	Normal
$\geq 1.04$	0,15	Extremadamente húmedo

9.- En las regiones I, II, III y XV la condición de sequía con carácter de extraordinaria será que el ICE3, ICE6 o ICE12 sea igual o inferior a -1.04.

10.- Para las regiones IV a XIV, incluida la Metropolitana las condiciones serán las siguientes:

- a.- Que el IPE6 o IPE12 sea igual o inferior a -1.04 y/o
- b.- Que el ICE3, ICE6 o ICE12 sea inferior a -1.04.

11.- Se debe realizar una revisión de la actual resolución cada 10 años, considerando aspectos como período de análisis, parámetros de las distribuciones y umbrales de los indicadores.

## 9 PROPUESTA DE PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

La propuesta de procedimiento administrativo para la DGA en relación a las sequías tiene por objeto que esta institución pueda seguir las condiciones hidrometeorológicas del país en su conjunto de manera preventiva y continua, de tal forma que cuando se presenten condiciones de escasez que requieran una declaración de sequía extraordinaria, ello se deba a una observación habitual de condiciones y no a la solicitud de terceros afectados por una situación grave de escasez ya en desarrollo. Se trata entonces de una actitud proactiva y no reactiva.

A continuación se revisa el procedimiento vigente de acuerdo a los instrumentos legales disponibles, posteriormente se propone una serie de acciones a realizar con el fin de prepararse para una nueva forma de abordar el problema y, finalmente, se plantean procedimientos administrativos para condiciones de régimen, considerando acciones antes, durante y con posterioridad al evento.

### 9.1 Experiencia de la DGA

La tabla siguiente muestra diferentes aspectos a considerar en el procedimiento administrativo de acuerdo a lo que actualmente se realiza con las disposiciones vigentes. En la última columna se indica si es necesario modificar el procedimiento con la nueva resolución.

Tabla 50: Procedimientos Administrativos

Instrumento legal	Requisito	Acción	Encargado	Modificación de procedimiento
Inciso 1 del artículo 314 del Código de Aguas de 1981	A petición o con informe de la DGA en épocas de extraordinaria sequía	Declaración de zonas de escasez	Presidente de la República o delegado al Señor Ministro del Ministerio de Obras Públicas	
		Sugerir la pertinencia de declarar zonas de escasez (dimensión espacial).	División de Hidrología, DGA	Comunicar además las zonas en estado de riesgo de sequía

Instrumento legal	Requisito	Acción	Encargado	Modificación de procedimiento
<p>Inciso 2 del artículo 314 del Código de Aguas de 1981.</p> <p>Resolución N°39 de fecha 9 de febrero de 1984</p> <p>Oficio Ordinario N° 9796, 2008</p>		Calificación de las épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinarias mediante resolución	DGA	Modificación de indicadores usados
		Emitir informes que den cuenta de la situación pluviométrica y fluviométrica según la resolución	División de Hidrología, DGA	Seguimiento continuo del estado de sequía. Presentar resultados de manera gráfica y pública a interesados.
		Sugerir la pertinencia de declarar épocas de extraordinaria sequía (dimensión temporal)	División de Hidrología, DGA	Revisión de nuevos criterios y rangos para declaración tanto de sequía extraordinaria como de alerta temprana.
Inciso tercero del artículo 314 del Código de Aguas,	Declarada la zona de escasez, y no habiendo acuerdo de los usuarios.	<b>Redistribuir</b> las aguas respecto de las disponibles en las fuentes naturales.	DGA, delegando parte de las atribuciones del Director General de Aguas en otra persona designada para ejercerlas	
artículo 315	Zonas declaradas de escasez, en las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios	<b>Distribución</b> de aguas en las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios	DGA, delegando parte de las atribuciones del Director General de Aguas en otra persona designada para ejercerlas	

---

## 9.2 Aspectos generales del procedimiento

La nueva resolución y enfoque propuesto requiere la preparación de procesos necesaria para poder abordar de buena manera situaciones de sequías en el futuro. Para ello las etapas que se consideran en el procedimiento administrativo propuesto son las siguientes:

1. **Conformación de la base de datos apropiada para el cálculo de los indicadores.** Se debe conformar una base de datos que considere las estaciones de precipitación y de caudales que proporcionen información de manera continua y al día, y a las cuales se deben agregar unas pocas estaciones adicionales, previamente identificadas. La base de datos debe organizarse de modo de disponer de estos datos mensualmente.
2. **Revisión detallada y procesamiento de los datos disponibles.** Se debe verificar que los datos mensuales disponibles de las estaciones que conforman la base de datos están razonablemente completos. Adicionalmente se debe estudiar si deben rellenarse o extenderse para considerar los últimos años, con un mínimo de 30 años. Inicialmente se debe comenzar con la información disponible pero a medida que el sistema se pone en marcha se debiese evaluar la conveniencia del relleno y extensión, así como analizar el periodo que se empleará como base, el cual puede ser un periodo fijo de 30 años o un periodo que considere los últimos 30 años.
3. **Estimación de las funciones de distribución del IPE e ICE para todas las estaciones de la base de datos.** Adicionalmente se debe estar en condiciones de actualizar estas funciones al menos una vez cada 5 años o cuando se presente una condición de escasez.
4. **Hacer un seguimiento del comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar, TSM, por los fenómenos de El Niño y La Niña, dada su relación con el comportamiento de las precipitaciones y caudales, especialmente en las zonas más afectadas por estos fenómenos.**
5. **Estimación periódica de los valores de los indicadores IPE e ICE.** El personal preocupado de condiciones de sequías debe calcular, ya sea de manera permanente o eventual en los periodos críticos, los valores de IPE1, IPE3, IPE6, IPE12 y los de ICE1, ICE3, ICE6 e ICE12 de todas las estaciones de la base de datos. Los resultados deben ser presentados de manera gráfica para las comunas, provincias, regiones, cuencas y zonas. A partir de estos resultados, se deben identificar situaciones de riesgo en las cuales los indicadores adoptan valores bajo los umbrales que definen las distintas condiciones de sequías.
6. **Información al público.** Se informará del seguimiento de las situaciones en todo el país, destacando aquellas más preocupantes, a los funcionarios de la DGA regionales y otros usuarios del recurso hídrico. Esto podría hacerse mediante la creación de un sitio web, o a través de la página web de la DGA, con una sección especialmente dedicada a informar sobre sequías.

7. **Revisar cada 5 años** la definición del periodo de análisis a emplear en la estadística básica. Ver la conveniencia de ocupar la última información disponible.

8. **Revisar cada 10 años la Resolución completa.**

### 9.3 Seguimiento de sequías

Propuesta de procedimientos administrativos para área de Hidrología de DGA frente a eventos de sequía:

- a- Procedimiento normal: control mensual del estado de los indicadores por parte del área de hidrología. Realización de informes de estado de los indicadores, cada 3 meses, en períodos relevantes como deshielos, especialmente para años con presencia de los fenómenos de La Niña y El Niño. Elevar alerta temprana cuando se registran valores de indicadores dentro de rangos de alerta.
- b- Alerta temprana, análisis de la intensidad de la sequía, control periódico del estado de los indicadores y generación de informes mensuales. Comunicación de los resultados obtenidos.
- c- Períodos de sequía, utilización de datos de precipitación y caudal, lo más recientes posibles. En el caso de caudales, estos deberán considerarse como preliminares a la espera de su rectificación.
- d- Al finalizar un evento de sequía, se realizará el análisis del funcionamiento de los indicadores. Definición de acciones correctivas. Generación de informe de Estado de Sequía con análisis y acciones correctivas.

### 9.4 Propuesta de Procedimiento administrativo

A continuación se presenta una propuesta de procedimiento administrativo a ser implementado para el seguimiento, control y mitigación de sequías. El procedimiento está estructurado en torno a la metodología de identificación de eventos de sequía propuesta para la nueva resolución. Para mayor claridad, el procedimiento se propone en la forma de un conjunto de acciones a realizar antes, durante y después del evento. Sin embargo, es importante notar que todos los aspectos son fundamentales y parte integral de un plan continuo. Por lo tanto, el buen cumplimiento de las actividades a realizarse después de un evento de sequía es fundamental para desarrollar exitosamente las actividades consideradas en el período anterior a un nuevo evento. La adopción de los índices IPE e ICE tiene justamente por objetivo seguir las condiciones hidrometeorológicas del país en su conjunto de manera preventiva y continua, lo que implica entonces una actitud proactiva y no reactiva. Esto conduce a desarrollar frente a las sequías un conjunto de actividades de manera prácticamente continua, para cada una de las cuales se propone el momento de intervención y el responsable.

#### 9.4.1 Antes del evento de sequía

1. **Conformación de la base de datos apropiada para el cálculo de los indicadores.** Se debe conformar una base de datos que considere las estaciones de precipitación y de

caudales que proporcionen información de manera continua y actualizada, y a las cuales se deben agregar unas pocas estaciones adicionales, previamente identificadas. La base de datos debe organizarse de modo de disponer de estos datos mensualmente.

- **Momento de intervención:** Constante, con un esfuerzo inicial luego de aprobarse la nueva resolución para la clasificación de eventos de sequía extraordinarios.
  - **Responsable:** DGA, Div. de Hidrología.
2. **Revisión detallada y procesamiento de los datos disponibles.** Se debe verificar que los datos mensuales disponibles de las estaciones que conforman la base de datos estén razonablemente completos. Adicionalmente se debe estudiar si deben rellenarse o extenderse para considerar los últimos años, con un mínimo de 30 años. Inicialmente se debe comenzar con la información disponible pero a medida que el sistema se pone en marcha se debe evaluar la conveniencia del relleno y extensión, así como analizar el periodo que se empleará como base, el cual puede ser un periodo fijo de 30 años o un periodo que considere los últimos 30 años.
    - **Momento de intervención:** Constante, con un esfuerzo inicial luego de aprobarse la nueva resolución para la clasificación de eventos de sequía extraordinarios.
    - **Responsable:** DGA, Div. de Hidrología.
  3. **Estimación de las funciones de distribución del IPE e ICE para todas las estaciones de la base de datos.** Adicionalmente se debe estar en condiciones de actualizar estas funciones al menos una vez cada 5 años o cuando se presente una condición de escasez.
    - **Momento de intervención:** Cada 5 años (o en condiciones de escasez), con un esfuerzo inicial luego de aprobarse la nueva resolución para la clasificación de eventos de sequía extraordinarios.
    - **Responsable:** DGA, Div. de Hidrología.
  4. **Seguimiento continuo del fenómeno ENSO (El Niño y la Niña).** En particular se debe efectuar un seguimiento continuo de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), la que permite estimar parcialmente el comportamiento de las precipitaciones y caudales en ciertas zonas del país, y de los índices considerados en la resolución.
    - **Momento de intervención:** Constante.
    - **Responsable:** DGA, Div. Hidrología, la cual puede solicitar información a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).
  5. **Estimación periódica de los valores de los indicadores IPE e ICE.** Se debe calcular los valores de los indicadores IPE1, IPE3, IPE6, IPE12 y los del ICE1, ICE3, ICE6 e ICE12 de todas las estaciones de la base de datos. Los resultados deben ser presentados de manera gráfica para las comunas, provincias, regiones, cuencas y zonas.
    - **Momento de intervención:** Constante (1 vez al mes). En caso de no ser posible el cálculo mensual de los indicadores, se recomienda hacerlo cada 3 meses

(marzo, junio, septiembre, diciembre), particularmente en caso de tenerse un fenómeno de La Niña. Por ningún motivo se sugiere el cálculo con una periodicidad menor a 6 meses, caso en el que se recomienda el cálculo en los meses de marzo y septiembre. Las condiciones adecuadas para detectar en forma temprana la ocurrencia de eventos de sequía se garantizan sólo mediante el cálculo continuo de los indicadores. Si esta periodicidad no se mantiene, se hace muy difícil poder declarar alertas tempranas que posibiliten la adecuada respuesta y actividades de mitigación.

- **Responsable:** DGA.
6. **Información al público.** Se recomienda informar del seguimiento de las situaciones en todo el país, destacando aquellas regiones donde se tengan las situaciones más preocupantes (según el siguiente paso). La información debe ser transmitida a los funcionarios de la DGA regionales quienes a su vez pasarían la información a las autoridades locales y los usuarios del recurso hídrico. Esto debiese hacerse a través de un sitio Web especialmente habilitado o a través de una sección de la página Web de la DGA dedicada al informe y seguimiento de sequías, de la misma forma que ocurrió los años 2008 y 2009.
    - **Momento de intervención:** Constante (1 vez al mes para la información general, y cada 3 o 6 meses para la elaboración del informe de estado de los indicadores)
    - **Responsable:** DGA.
  7. **Declaración de alerta temprana de sequía.** Se declarará una alerta temprana para las comunas, provincias, regiones, cuencas y/o zonas del país donde el valor del indicador mencionado en los numerales 9 y 10 de la resolución para cada zona, sea inferior a menos 0,85. La información será transmitida a los funcionarios de la DGA regionales y otros usuarios del recurso hídrico.
    - **Momento de intervención:** en el mismo mes en que se detecte que el indicador empleado en la zona alcanza un valor igual o inferior al indicado.  
**Responsable:** DGA.

#### 9.4.2 Durante el evento de sequía

1. **Declaración de evento de sequía extraordinaria.** Se evaluará la declaración de un evento en caso de existir una región geográfica donde aplique lo estipulado por la resolución. La información será transmitida a los funcionarios de la DGA regionales y otros usuarios del recurso hídrico a través del sitio Web previamente mencionado.
  - **Momento de intervención:** Cuando se cumpla alguna de las condiciones estipuladas por la resolución y se detecte situaciones de conflicto donde las atribuciones de la DGA permitan intervenir o tomar acciones concretas y específicas acorde a lo señalado en los Artículos 314 y 315 del Código de Aguas,

- **Responsable:** DGA (Calificación de un evento como de sequía extraordinaria). De acuerdo al Art. 314 del Código de Aguas el Presidente de la República, a petición o con informe de la DGA, declara mediante decreto, épocas de extraordinaria sequía, y a consecuencia de ello habilita para declarar zona de escasez las áreas del territorio afectadas por un periodo no prorrogable de 6 meses.
2. **Seguimiento del evento de sequía extraordinaria.** Se continuará calculando mensualmente los índices estipulados en la resolución de modo de mantener un seguimiento actualizado de la situación. La información será transmitida a los funcionarios de la DGA regionales y otros usuarios del recurso hídrico a través del sitio Web previamente mencionado.
    - **Momento de intervención:** 1 vez al mes
    - **Responsable:** DGA, Div. Hidrología.
  3. **Declaración del fin de un evento de sequía extraordinario.** Se declarará un evento de sequía extraordinario como terminado una vez que ninguno de los valores de los indicadores considerado en la resolución igualen o estén por debajo de los valores críticos al menos durante tres meses consecutivos.
    - **Momento de intervención:** Cuando corresponda según los valores estipulados en la resolución.
    - **Responsable:** DGA. Eventualmente luego del periodo máximo de 6 meses considerado por el Art. 314 del código de Aguas se pondrá fin automático del periodo de escasez.

#### 9.4.3 Después del evento de sequía (y en paralelo con los pasos a seguir antes de un nuevo evento de sequía)

1. **Análisis del funcionamiento global de los indicadores.** Al finalizar un evento de sequía, se analizará en detalle el funcionamiento de los indicadores IPE e ICE, y se evaluará su utilidad en lo referido a caracterización correcta de la intensidad, magnitud y duración del evento.
  - **Momento de intervención:** Al declararse un evento de sequía extraordinario como finalizado, y por un periodo de 2 meses.
  - **Responsable:** DGA
2. **Recopilación de información adicional. Recopilación de información de terreno proporcionada** por los sectores administrativos, económicos u otros directa o indirectamente afectados por el evento de sequía. Dicha información será utilizada en el proceso de diagnóstico y posible modificación del valor crítico de los indicadores.
  - **Momento de intervención:** Al declararse un evento de sequía extraordinario como finalizado, y por un periodo de 2 meses.
  - **Responsable recopilación de la información:** DGA

- **Responsable entrega de información:** organismos e instituciones directa e indirectamente afectados por los eventos de sequía extrema, incluyendo entes administrativos (Intendencias, Gobernaciones y Municipalidades), entes productivos (Agricultores, Ganaderos, etc.), empresas sanitaria, empresas mineras e hidroeléctricas, etc.
3. **Definición de acciones correctivas.** Éstas se realizan en caso que se compruebe la existencia de falencias con los valores críticos de los indicadores adoptados.
- **Momento de intervención:** Luego de finalizar el proceso de análisis del funcionamiento de los indicadores y del levantamiento de información de terreno, y por un periodo de 2 meses.
  - **Responsable:** DGA
4. **Preparación de informe de Estado de Sequía.** Dicho informe debe:
- Resumir el detalle de todos los antecedentes generados luego del evento de sequía, incluyendo tanto la evaluación hecha por la DGA como la información proporcionada por los organismos externos.
  - Cuantificar la magnitud, intensidad, duración y la caracterización espacial del evento.
  - Explicitar las acciones correctivas adoptadas.
  - **Momento de intervención:** Luego de finalizar el proceso de definición de acciones correctivas, y por un periodo de 3 meses.
  - **Responsable:** DGA.
5. Proceder a realizar las acciones consideradas para el periodo previo a eventos de sequía, según se especificó anteriormente.
6. Finalmente se consideran dos actividades de más largo plazo, ambas de responsabilidad de la DGA:
- **Revisión cada 5 años de la extensión del periodo de análisis a emplear en la estadística básica.** En particular se debe velar por incorporar la última información disponible en esta actualización.
  - **Revisar antes de cumplidos 10 años de la Resolución completa.**

**10 ANEXO 1: RESOLUCIÓN N° 39**

REPÚBLICA DE CHILE  
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA



OPICINA GENERAL DE AGUAS  
 OPICINA DE PARTES  
 RESOLUCION TRAMITADA  
 Fecha... 16 FEB 1984

REF: ESTABLECE CRITERIOS PARA CALIFICAR EPOCAS DE EXTRAORDINARIA SEQUIA.

SANTIAGO, - 9 FEB. 1984

N° 039

MINISTERIO DE HACIENDA  
 OFICINA DE PARTES  
 RECIBIDO

VISTOS:

Lo dispuesto en los artículos 300 letra c) y 3 del Código de Aguas y,

CONSIDERANDO:

Que, es imprescindible fijar los criterios técnicos para definir las condiciones hidrológicas de las que se derivan situaciones de aguda escasez en la disponibilidad del recurso agua para las diferentes regiones, de donde origen a períodos de sequía que puedan considerarse extraordinarios,

RESUELVO:

1.- Las condiciones hidrológicas determinantes para que se califique a una época de sequía como extraordinaria, serán las que se indican en la presente Resolución para las diferentes regiones del país.

2.- Las condiciones que se señalan para cada región, pueden presentarse simultánea o separadamente.

3.- Los parámetros hidrológicos que servirán de base para determinar las condiciones a que se refiere la presente Resolución, serán las precipitaciones y caudales medidos en estaciones de observación controlados por la Dirección General de Aguas u otras Instituciones oficiales encargadas de hacer medición hidrometeorológicas.

4.- En las Regiones I y II, la condición será que el caudal de los ríos sea inferior al 70% del caudal de probabilidad de excedencia 50% durante tres meses consecutivos.

5.- En las Regiones III y IV, las condiciones serán:

a) La precipitación acumulada a partir del 1 de Abril sea inferior al 50% del valor medio estadístico y

CONTRALORIA GENERAL  
 TOMA DE RAZON  
 10 FEB. 1984  
 RECEPCION

DEPART. JURISDICO	
DEP. T. R. Y REGISTRO	
DEPART. CONTABLE	
SUB. DEP. C. CENTRAL	
SUB. DEP. E. CREDITAS	
SUB. DEP. C. F. Y BIENES HAC.	
DEPART. AUDITORIA	
DEPART. V.C.P. U. Y T.	
SUB. DEP. MUNICIPI.	

REFERENDACION

REF. POR \$	.....
IMPUNAC.	.....
ANOT. POR \$	.....
IMPUNAC.	.....
DEBUC. DPO.	.....

IMPRESAS - 1974

C. R. I. TOMA DE RAZON  
 Departamento de lo Urbano y Industria y Obras Públicas y Transportes  
 10 FEB 1984

TOMORAZON  
*[Handwritten signature]*

- 2 -

b) Que el caudal medio mensual de los ríos sea inferior al 50% del caudal de probabilidad de excedencia 50 del mismo mes.

6.- En las Regiones V, Metropolitana, VI y VII las condiciones serán:

a) La precipitación acumulada a partir del mes de Abril sea inferior al 70% del valor medio estadístico.

b) Las precipitaciones acumuladas a partir del mes de Setiembre, tengan un período de retorno de 10 años.

c) El caudal medio mensual de los ríos sea inferior al 70% del caudal medio estadístico del mismo mes.

7.- En las Regiones VIII, IX y X las condiciones serán:

a) La precipitación acumulada a partir del mes de Mayo, sea inferior al 70% del valor medio estadístico.

b) La precipitación acumulada a partir del mes de Octubre, tenga un período de retorno de 10 años.

c) El caudal medio mensual de los ríos sea inferior al 70% del caudal medio estadístico del mismo mes.

8.- En las Regiones XI y XII, la condición será que:

Las precipitaciones acumuladas en un período de tres meses consecutivos, sea inferior al 70% del medio estadístico.

9.- La presente Resolución se cumplirá de inmediato, sin perjuicio de su posterior toma de razón por la Contraloría General de la República.

ANOTESE, TOMESE RAZON Y COMUNIQUESE.

*Remite a todos  
los Directores Regionales P.S.A.  
y a Pptos. P. de Aguas, Seg. y  
Medio Ambiente, Asistencia y el Puerto*



*E. L. P.*  
EUGENIO LOBO PARRA  
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

## 11 ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Región	Provincia	Comuna	Estaciones			
			Información diaria con más de 15 años de registro	Información diaria con menos de 15 años de registro	Información disponible durante sequías	no usadas durante sequías pero con 30 años de registro
XV Arica y Parinacota	Arica	Arica				Arica Oficina, Azapa
		Camaronés				Codpa, Esquida
	Parinacota	General Lagos			(Villa Industrial) Tacora	Visviri, Humapalca, Alcerreca
I Tarapacá	Iquique	Putre	Central Chapiquida		Chungará Retén, Chueuyo Retén, Guallatire, Putre	Caquena, Cotacotani, Chileaya, Belén - Dcp, Tignamar
		Iquique, Alto Hospicio				
		Camíña				Camíña
		Colchane				Colchane (Tte. Isluga)
		Huara				Poroma
		Pozo Almonte				Parca, Guatacondo Dga
II Antofagasta	Antofagasta	Pica				Cancosa, Coyacagua, Ujina, Copaquire
		Antofagasta	Antofagasta			
		Mejillones				
		Sierra Gorda				Baquesano
		Taltal				Tal-Tal
		San Pedro de Atacama				Toconao Experimental, Socaire, Peine, Río Grande
II Antofagasta	El Loa	Ollagüe			Ollagüe, Ascotan	Lequena, Parshall N 2, Ojos San Pedro, Inacaliri, Conchi Viejo, Chiu-Chiu, Toconce, Ayquina, Caspana, El Tatío
		Calama	Conchi Embalse, Calama			Quillagua
		María Elena Tocopilla				
III Atacama	Copiapó	Copiapó	Copiapó			Jorquera En La Guardia, Manflas Hacienda, Los Loros, Elibor Campamento

870294

	Caldera	Lautaro Emb.			Pastos Grandes
	Tierra Amarilla				
Chañaral	Chañaral, Diego de Almagro				
	Vallenar	Vallenar DGA			Santa Juana
Huasco	Alto del Carmen				Conay, Junta Del Carmen, San Félix
	Freirina, Huasco				
	Vicuña	Rivadavia, Vicuña (Inia)			Cerro Olivares, La Laguna Embalse, Almendral
	La Serena	La Serena (Escuela Agrícola)			
Elqui	Coquimbo, Andacollo, La Higuera,				
	Paiguano				Pisco Elqui Dmc, Los Nichos, Monte Grande,
	Salamanca	Coirón		Salamanca	Cuncumén, La Tranquilla, San Agustín
Choapa	Los Vilos			Los Vilos Dmc, Quilimarí	Culimo Embalse, Quelón, Los Cóndores
	Canela				Mincha Norte, La Canela Dmc
	Illapel	Huintil Hacienda			Limahuida, Illapel Dga
	Combarbalá	Cogotí 18			Combarbalá, Cogotí Embalse
	Monte Patria				Las Ramadas, Tascadero, Tulahuén, Carén, Q. Larga Cota 3500 – Dcp, Rapel, El Tome
Limarí	Punitaqui				Punitaqui
	Río Hurtado				Pabellón, Hurtado, Pichasca
	Ovalle	Paloma Embalse, Ovalle Dga			Recoleta Embalse, Sotaqui, La Torre
	Los Andes	Vilcuya			Riecillos, Los Andes
Los Andes	Calle Larga, Rinconada, San Esteban				
Petorca	La Ligua			Longotoma	Las Colmenas, Valle Hermoso
IV Coquimbo					
V Valparaíso					

870294

						Artificio, Alicahue Hacienda
						El Trapiche, El Sobrante Hacienda, Pedernal Hacienda, Chalaco Hacienda, Palquico, Fruittillar Alto, El Salvador
						Estero Rabuco
						Lo Rojas
					Quillota	Liu-Liu Embalse, Los Aromos
						San Antonio (Pta. Panul), Cerrillos De Leyda
					Fundo Las Dos Puertas	
				San Felipe		Resguardo Los Patos
				Putando		
				Llailay, Panquehue, Santa Maria		Catemu Colliguay
				Catemu		
				Quilpué		
				Casa Blanca, Concón, Juan Fernández, Puchuncaví, Quintero, Villa Alemana, Viña del Mar		
				Valparaíso	Lago Peñuelas	Rodelillo
				Isla de Pascua		
				Colina, Lampa		
				Tiltil		Rincón De Los Valles, Caleu, Cerro El Roble
				Pirque		Pirque
				San José de Maipo	El Yeso Embalse	Las Arenas, San Gabriel, San José Retén
				Puente Alto		La Obra Recinto Emos
XIII						
Metropolitana						

870294

VI Del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Maipo	San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine								
	Melipilla	Melipilla						Carmen De Las Rosas		
		Alhué, Curacaví, María Pinto, San Pedro								
	Santiago	Santiago		Terraza Ofcs. Centrales Dga						
		Lo Bamechea							Barros Negros	
		Las Condes		Cerro Calan						
		Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, Joaquín, San Miguel, San Ramón, Vitacura								
		Talagante	Talagante, El Monte, Isla de Maipo, Padre Hurtado, Peñaflores							
	Cachapoal	Rancagua				Rancagua (Cachapoal) - Dep				
		Codegua, Coínco, Coltauco, Doñihue, Graneros, Las Cabras, Machalí, Malloa, Mostazal, Olivar, Peumo, Quinta de Tilcoco, Requinoa								
Rengo								Popeta, Rengo		
San Vicente								Millahue		

870294

	Pichidegua					Pichidegua
Cardenal Caro	Navidad				Rapel	
	Marchihue, Paredones, La Estrella					
	Pichilemu				Pichilemu	
	Litueche				Litueche	
	Chépica			Convento Viejo		La Candelaria
	San Fernando			San Fernando - Dcp		La Rufina
Colchagua	Pumanque				Ñilahue Barahona	
	Chimbarongo, Lolol, Nancagua, Palmilla, Parehillo, Placilla, Santa Cruz					
Cauquenes	Chanco, Peluhue					
	Cauquenes					Tutuvén Embalse, Quella
Curicó	Romeral					Los Queñes
	Teno					El Manzano
	Curicó			Curicó		Potrero Grande
	Sagrada Familia					
	Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Vichuquén					Lontué
	Linares			Linares		Ancoa Embalse, Melozal
Linares	Colbún					Hormillo, Colbún (Maule Sur)
	Longaví					Liguay
	Parral			Digua Embalse, Parral		San Manuel En Perquilauquén, Bullileo Embalse
	San Javier					Nirivilo, San Javier
	Retiro, Villa Alegre, Yerbás Buenas					
	Curepto					Gualleco
Talca	Pencahue					Pencahue
	Río Claro					El Guindo
	San Clemente			Colorado		Armerillo, Huapi
	Talca			Talca U.C.		
VII Del Maule						

870294

		Constitución, Empedrado, Maule, Pelarco, San Rafael				
Arauco		Lebu, Arauco, Contulmo, Curamilahue, Los Álamos, Tirúa				
		Cañete	Cañete			
Bío Bío		Antuco, Cabrero, Laja, Nacimiento, Negrete, Quilleco, Santa Bárbara, Yumbel, Alto Bío Bío				
		Tucapel				Trupán, Tucapel
		Quilaco			Quilaco	Cerro El Padre
		Mulchén				Mulchén
		Los Ángeles	Los Ángeles			Las Achiras
		San Rosendo				Laja
		Tomé			Dichato	
Concepción		San Pedro de la Paz			Concepción Dga	
		Concepción, Coronel, Chiguayante, Florida, Hualqui, Lota, Penco, Santa Juana, Tancahuano, Hualpén				
		San Fabián				Cerro La Gloria, San Fabián
		Coihueco				Coihueco Emb
		Chillán Viejo	Chillán Viejo			
		Yungay				Cholguán
		Pinto			Fundo Atacalco	Las Trancas, Diguillín, San Lorenzo, Volcán Chillán
		Pemuco				Pemuco
		Quillón				Chillancito
		Chillán				Nueva Aldea
Ñuble		Coelemu			Coelemu	
		Bulnes, Cobquecura, El Carmen, Ninhue, Niquén, Portezuelo, Quirihue, Ranquil, San Carlos, San Ignacio, San Nicolás,				

VIII

Del Bío Bío

870294

	Treguaco						
IX De La Araucanía	Lautaro					Quillen, Lautaro	
	Temuco	Pueblo Nuevo (Temuco)					
	Vilcún					Vilcún	
	Saavedra				Puerto Saavedra		
	Cunco					Cunco, Los Laureles, Quecheregua	
	Curarrehue					Curarrehue	
	Pucón					Llafenco	
	Villarrica					Villarrica	
	Gorbea					Quitratue	
	Carahue, Freire, Galvino, Loncoche, Melipeuco, Nueva Imperial, Padre Las Casas, Perquenco, Pitrufquén, Teodoro Schmidt, Toltén, Cholchol						
	Curacautín					Laguna Malleco, Curacautín	
	Collipulli					Collipulli	
	Lumaco		Angol (La Mona)			Lumaco	
	Angol, Ercilla, Lonquimay, Los Sauces, Purén, Renaico, Triguén, Victoria						
Futrono					Lago Maihue		
Lago Ranco					Lago Ranco		
La Unión, Río Bueno							
Valdivia				Valdivia (U. Austral)	Llancahue		
Panguipulli					Pirehueico En Pirehueico, Lago Calafquén		
Corral, Los Lagos, Mafil, Mariquina, Paillaco							
XIV De Los Ríos							

870294

X De Los Lagos	Llanquihue	Puerto Montt, Calbuco, Cochamó, Fresia, Frutillar, Los Muermos, Llanquihue, Maullín, Puerto Varas	Puerto Montt			
	Osorno	Osorno, Puerto Octay, Purranque, Puyehue, Río Negro, San Juan de la Costa, San Pablo	Osorno			
	Chiloé	Castro, Ancud, Chonchi, Curaco, de Vélez, Dalcahue, Puqueldón, Quellón, Quellón, Quemchi, Quinchao				
	Palena	Chaitén, Futaleufú, Hualaihué, Palena				
	Aisén		Cisne		Puerto Puyuhuapi,	
			Aisén		Puerto Cisnes	
			Guaitecas		Puerto Aysén	Puerto Chacabuco
			Lago verde			
	Coyhaique		Coyhaique	Coyhaique (Escuela Agrícola)		Coyhaique Alto
			Río Ibáñez		Puerto Ibáñez	
Chile Chico				Puerto Guadal		
Capitán Prat		Cochrane, O'Higgins, Tortel,				
Magallanes		Punta Arenas, Laguna Blanca, Río Verde, San Gregorio	Punta Arenas			
Tierra del Fuego		Porvenir, Primavera, Timaukel			Bahía San Felipe	
Última Esperanza		Natales, Torres del Paine				
Antártica Chilena		Cabo de Hornos, Antártica Chilena				

### 12 ANEXO 3: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

Clima	Zona	Cuenca	Subcuenca	Agrupación			
				Satelital con más de 15 años	Satelital con menos de 15 años	No satelital utilizadas en sequía	No utilizada en sequía con 30 años de registro
Zona árida del norte	Costeras Norte	18 Costeras Tiliviche- Loa	180 Entre Quebrada Tiliviche y Pampa Orcoma				
			181 Pampas Orcoma y Perdiz 182 Pampas El Carmen y De La Unión 183 Salar De Soronel y Pampa Blanca 184 Pampa De Las Zorras y Salar Grande				
		22 Costeras R. Loa- Q. Caracoles	220 Costeras entre Rio Loa y Q. Iquine 221 Costeras entre Q. Iquine y Q. Tocopilla 222 Costeras entre Q. Tocopilla y Q. Gatico 223 Costeras entre Q. Gatico y Q. Chacaya, 224 Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles				
		29 Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	290 Qs. entre Q. La Negra y Q. de Remedios 291 Quebrada de Remedios y Quebrada de Izcuna, 292 Qs. entre Q. de Izcuna y Q. de				





870294

		<p>Atacama - Socompa</p>	<p>Guchalajte y Pampa del Lari, 233 Salar de Incaguasi, 234 Salar de Pular 240 Laguna Parico, Laguna Helada y Salar de Pujsa, 241 Salar de Quisquiro, 242 Salar de Aguas Calientes y Alto del Lari, 243 Laguna Lejia, 244 Lagunas Miscanti y Meniques, 245 Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco, 246 Laguna de Tuyajto, 247 Salar de Talar y Purisunchi, 248 Laguna del Cabo</p>				
	<p>24 Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama</p>						
	<p>25 Salar de Atacama</p>					<p>Canal Vilama En Vilama Río San Pedro En Cuchabrachi</p>	
	<p>26 Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico</p>						



870294

			Río San José en Ausipar				Acueducto Azapa En Bocatoma
14	Costeras R. San José -Q. Camarones	131 Río San José 140 Costeras entre Río San José y Quebrada Vitor, 141 Quebrada Vitor, 142 Costeras Entre Quebradas Vitor y Camarones					
15	Q. Río Camarones	150 Río Camarones Antes Junta Quebrada de Chiza 151 Quebrada de Chiza, 152 Río Camarones Bajo		Río Camarones en Chilpe			Río Camarones En Conanoxa
16	Costeras R. Camarones - Pampa del Tamarugal	160 Costeras entre Río Camarones y Quebrada Camiña 161 Quebrada de Camiña					
17	Pampa del Tamarugal	170 Pampa del Tamarugal, 171 Quebrada de Soga, 172 Quebrada de Aroma, 174 Quebrada de Quipisca, 175 Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo, 176 Quebrada de Quisma, 177 Quebrada de Chacarilla, 178 Quebrada de		Q. Camiña 3 km. A. Arriba de Tarcavire			Quebrada Camiña En Altusa













870294

41 Río los Choros	410 Q. Los Choros hasta junta Q. del Pelicano, 411 Q. del Pelicano, 412 Q. Los Choros entre Q. del Pelicano y desembocadura								
42 Costera R. los Choros R. Elqui	420 Costeras entre Río Los Choros y Río Elqui								
44 Costeras entre Elqui y Limarí	440 E. El Culebrón - Q. El Romeral (Incl.) 441 Q. Camarones (Incl. - R. Limarí)								Estero Culebrón en el Sifón
46 Costeras entre R. Limarí y R. Choapa	460 Costeras entre Río Limarí y Estero El Teniente, 461 E. El Teniente y E. El Almendro (Incl.), 462 Costeras entre E. El Almendro y Q. Totoral (Incl.), 463 Costeras entre Quebrada Totoral y Río Choapa								
48 Costeras entre R. Choapa y R. Quilimari	480 Costeras entre Estero Millahue y Estero Pupio, 482 Costeras entre Estero Pupio y Río Quilimari								Estero Pupio En El Romero
49 Río Quilimari	490 Río Quilimari hasta Muro Embalse Culimo								



870294

									Estero Pocuro En El Sifón
				Río Aconcagua En Chacabucuito, Río Aconcagua En San Felipe, Río Putaendo En Resguardo Los Patos					Canal Las Vegas En Bocatoma
				Río Aconcagua Bajo					Río Volcán En Quelitehues, Estero Glaciar Echaurren, Río Colorado Antes Junta Río Olivares, Río Colorado Antes Junta Río Maipo
				541 Aconcagua Medio					Río Angostura En Valdivia De Paine
				542 Aconcagua Bajo					Estero Yerba Loca Antes Junta San Francisco
				570 Río Maipo Alto					Estero Polpaico En Chicauma
				571 Río Maipo Medio					Estero Puangue En Boquerón, Estero Puangue En Ruta 78
				572 R. Mapocho Alto					Estero De La Cadena Antes Junta Río Cachapoal, Río Claro
				573 Mapocho Bajo					En Tunca
				574 Río Maipo Bajo (Entre Río Mapocho y Desembocadura)					
				600 Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Río Claro)					
57	Río Maipo			Río Cortaderal Ante Junta Río Cachapoal, Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Cortaderal, Río Pangal En Pangal, Río Cachapoal En Pte					
60	Río Rapel			Río Las Leñas Ante Junta Río Cachapoal, Canal Sauzal En Puente Termas					







870294

		83 Río Bío-Bío	830 Río Bío Bío alto(hasta despues junta río lamin)		Río Bío-Bío En Llanquén		Río Lirquen En Cerro El Padre
		831 Río Bío-Bío entre Río Ranquil y Río Duqueco	Río Bío bío En Rucalhue	Río Bío Ante Junta Huiñi, Río Bío En Angostura Ralco I, Río Pangué En Captación, Río Bío Bío Ante Junta Pangué		Río Duqueco En Cerrillos, Río Duqueco En Villucura	
		832 Río Duqueco				Río Mulchén En Mulchén, Río Bureo En Mulchén, Río Bío bío En Colhue	
		833 Río Bío-Bío entre Río Duqueco y Río Vergara				Río Renaico En Longitudinal, Río Miminco En Longitudinal	
		834 Río Reinaco				Río Malleco En Collipulli	
		835 Ríos Malleco y Vergara					
		836 Río Bío-Bío entre Río Vergara y Río Laja		Estero Quilque En Los Angeles			
		837 Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	Canal Collao, Canal Abanico En Km 049	Canal Alto Polcura, Canal De Descarga Central El Toro, Río Polcura En Cuatro Junta Canal Zañartu después Bocatoma Río Laja, Canal De Descarga Central Antuco, Canal Mirrihue			

870294

		838 Laja Bajo	Canal Laja Camino A Tucapel, Río Laja En Tucapel	Canal Laja-Diguillín	Río Laja en Puente Perales	
		839 Río Bio Bio bajo	Río Bio bio En Desembocadura			
	55 Costeras entre Aconcagua y Maipo	550 E. Marga-Marga, 551 Lago Peñuelas, 552 E. Casablanca y E. San Jerónimo (Incl.), 553 E. del Rosa Río (Incl.) a R. Maipo				
	56 Islas del Pacífico	560 Islas de Juan Fernández, 560 Islas de Juan Fernández, 561 Isla de Pascua				
	58 Costeras entre Maipo y Rapel	580 Estero Yali				
	61 Costeras Rapel-E. Nilahue	610 Costeras entre Río Rapel Y Estero Topocalma, 611 Estero Topocalma, 612 Costeras entre E. Topocalma y E. Nilahue 614 Costeras entre Estero Nilahue y Limite Region				
		613 Estero Nilahue				Estero Nilahue En Santa Teresa



870294

		<p>84 Costeras e Islas entre Ríos Bio-Bio y Carampangue</p>	<p>840 Isla Santa María, 841 Costeras entre Río Bio-Bio y Río Manco, 842 Costeras entre R. Manco (incl.) y R. Lاراquete, 843 Costeras entre R. Lاراquete (incl.) y R. Carampangue</p>				
	<p>85 Río Carampangue</p>	<p>850 Río Carampangue hasta bajo junta Estero Animas, 851 Río Carampangue entre Estero Animas y Río Colorado, 852 Río Lia, 853 R. Carampangue entre arriba R. Colorado y desembocadura</p>					
	<p>86 Costeras Carampangue - Lebu</p>	<p>860 Costeras entre Río Carampangue y Punta Lavapie, 861 Costeras entre Punta Lavapie y Río Quiapo, 862 Río Quiapo, 863 Costeras entre Río Quiapo y Río Lebu</p>					
	<p>87 Río Lebu</p>	<p>870 Río Curamilahue, 871 Río Pilpilco, 872 R. Lebu entre junta ríos Curamilahue y Pilpilco y</p>					

















870294

				Wilcok, 1208 Costeras entre fiordo Guilardi y Seno Andrew (exc. Peninsula Wilcok)		
				1220 Costeras entre Seno Andrew y Fiordo Calvo, 1221 Costeras entre Fiordo Calvo y Fiordo Peel, 1222 Peninsula entre Fiordo Peel y Paso Stewart, 1223 Costeras e Islas entre fiordo Peel y Peninsula Sta. Ines, 1224 Peninsula Santa Ines e Islas Adyacentes, 1225 Cordillera Sarmiento, 1226 Peninsula Roca e Isla Diego Portales, 1227 Costeras entre Peninsula Roca y Río Serrano, 1229 Costeras entre Río Serrano y Río Hollenberg	122 Costeras entre Seno Andrew y R. Hollenberg e islas al oriente	

870294

				Río Paine En Parque Nacional 2, Río Las Chinas En Cerro Guido, Río Las Chinas Antes Desague Del Toro, Río Serrano En Desague Lago Del Toro, Río Serrano En Desembocadura			
			Río Grey Antes Junta Serrano				
		1228 Río Serrano					
		1240 Costeras del Golfo Almirante Montt y Fiordo Obstruccion, 1241 Peninsula Muñoz Gamero (Al N. Est. Excelsior), 1242 Peninsula Muñoz Gamero (Al S. Est. Excelsior), 1243 Islas Entre Canal Alte Martinez y Estrecho de Magallanes, 1244 Isla Riesco, 1245 Costeras Continentales del Seno Skyring 1250 Laguna Blanca, 1251 Costeras entre Laguna Blanca, Peninsula Brunswick y Santa Susana, 1252 Río Santa Susana, 1253 Costeras entre R. Santa Susana y					
124 Costeras e Islas entre R Holleberg, Golfo Alte. Laguna Blanca							
125 Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes							







870294

					(Archipiélago Guayeco), 1184 Isla Prat (Archipiélago Guayeco), 1185 Isla Serrano (Archipiélago Guayeco), 1186 Isla Patricio Lynch, 1187 Otras Islas Archipiélago Guayeco			
					1210 Islas al Poniente del Canal Fallos, 1211 Islas entre Canal Fallos y la Isla Wellington, 1213 Islas al Poniente del Canal Picton, 1214 Islas Poniente Est. Trinidad, Est. Concepcion y Canal Oeste, 1215 Isla Duque de York	121 Islas entre limite Región y Canal Ancho y Estrecho de la Concepcion		
					1212 Isla Wellington e Isla entre esta y el Oriente			Río Punta Eva En Puerto Eden

870294

					1230 Islas Entre Fiordo Andrew, Canal Peel, Canal Inocentes y Estrecho de la Concepcion, 1231 Islas Entre Canal Inocentes, Estrecho Sarmiento y Estrecho Guadalupe, 1232 Islas Entre Estrecho Guadalupe, Paso Castro y Estrecho Nelson, 1233 Islas Entre Paso Castro, Estrecho Sarmiento, Paso Victoria y Estrecho Smith, 1234 Islas Entre Paso Castro, Estrecho Smith, Canal Bambach, Canal Secoret y Paso Uribe, 1235 Islas Entre Paso Uribe, Canal Bertran y Canal Nogueira, 1236 Islas al Poniente del Canal Nogueira, 1237 Canales entre Canal Bertran, Canal Señoret y Canal O'Higgins, 1238 Islas entre Canal O'Higgins, Canal Bambach y Canal Smith				
--	--	--	--	--	---	--	--	--	--

870294

		<p>127 Islas al Sur Estrecho de Magallanes</p>	<p>1270 Isla Desolacion y adyacentes, 1271 Isla Jacques, 1272 Islas al S. del Seno Dyvenor y Canal Abra al O. I. Sta Ines, 1273 Isla Santa Ines y Carlos III, 1274 Islas al S. Isla Sta Ines y al O. Canal Barbara y Canal Cockburn, 1275 Islas Clarence y adyacentes, 1276 Isla Capitan Aracena y adyacentes</p>				
		<p>128 Tierra del Fuego</p>	<p>1280 Costeras del Estrecho Magallanes, entre Frontera y Cabo Monmouth 1281 Costeras Bahia Inutil (entre Cabo Monmouth y Cabo Nose), 1283 Costeras entre R. Azopardo y Seno Serrano, 1284 Peninsula Entre Senos Serrano y Ventisqueros, 1285 Costeras Canal Beagle (entre Seno Ventisquero y Frontera), 1286 Cuencas Atlanticas hasta Frontera entre Arroyo</p>				<p>Río Side En Cerro Sombroso, Río Oscar En Bahia San Felipe</p>

