

ESTUDIO DE PERFECCIONAMIENTO DE LAS CAPACIDADES DE LA DGA EN GESTIÓN DE CICLOS DE SEQUÍA Y ESCASEZ

para

Dirección General de Aguas, MOP

Presentación de Resultados

Santiago, 28 de mayo de 2021

Objetivo General

Perfeccionar las capacidades de la DGA en la gestión de ciclos de sequía y escasez.



Objetivos específicos:

- 1) Avanzar en el conocimiento científico-tecnológico de las condiciones hidrológicas y mecanismos climáticos que determinan las condiciones de sequía y escasez en Chile.
- 2) Definir un marco factible para perfeccionar el pronóstico de períodos de escasez extraordinaria, identificando fuentes de predicción de sequía y escasez aplicables en Chile.
- 3) Renovar y actualizar los criterios técnico-administrativos de la resolución DGA N° 1674, y proponer los contenidos de una nueva resolución DGA en esta materia, que sustente lo requerido por el Código de Aguas.
- 4) Mejorar las capacidades de la DGA para monitorear períodos de sequía extraordinaria, y generar los informes calificadores, incluyendo el uso de datos actualizados y aplicación automatizada de nuevas técnicas y métricas que mejoren la gestión del servicio en las épocas de sequía y escasez.
- 5) Modernizar el sistema de información de sequías y escasez de la DGA a través de rutinas automáticas para todo el territorio nacional.
- 6) Transferir las capacidades necesarias al personal DGA para la correcta implementación de los criterios y elementos desarrollados y el uso completo del sistema informático de apoyo, y difundir los resultados del estudio en sentido amplio.

Etapa I

- Revisión de literatura y antecedentes
- Caracterización de información hidrometeorológicas y productos grillados
- Evaluación de pertinencia de otras fuentes de información satelital
- Focus group

Etapa II

- Propuesta de índices de sequía
- Propuestas hacia un observatorio de sequías
- Propuesta de medidas normativas y nueva resolución
- Desarrollo de herramientas para la calificación de sequías y visualización en observatorio
- Capacitación y difusión

Revisión de literatura y antecedentes

Análisis de sistemas nacionales e internacionales de monitoreo de sequías



Sitios contrastados

1. National Integrated Drought Information System (NIDIS)
2. United States Drought Monitor (USDM)
3. North American Drought Monitor (NADM)
4. European Drought Observatory (EDO)
5. SPEI Global Drought Monitor (SPEI)
6. NSW Department of Primary Industries (DPI)
7. International Research Institute for Climate and Society (IRI)
8. Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA, CRC-SAS)
9. Monitor Climático Ministerio de Agricultura (CNR)

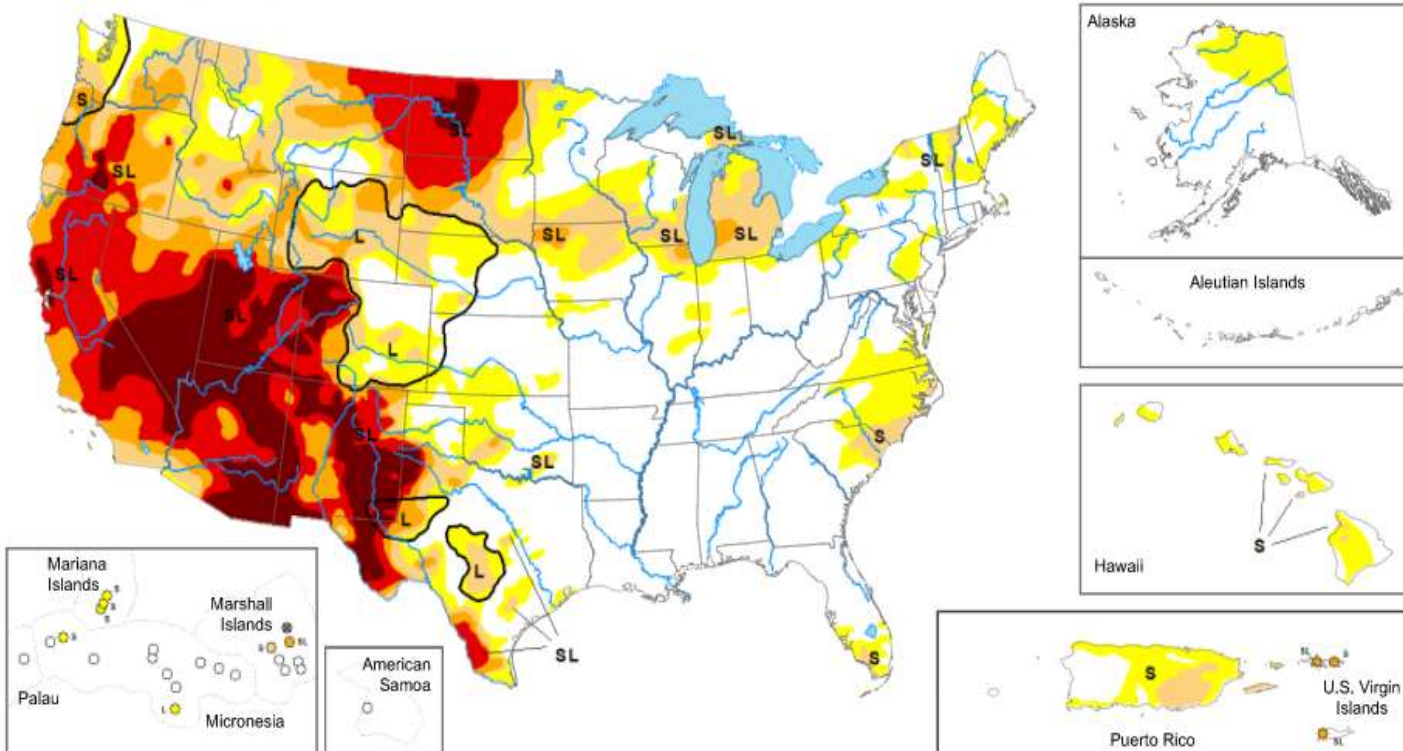
Análisis de sistemas nacionales e internacionales de monitoreo de sequías

Sistemas de monitoreo de sequías, análisis internacional, USDM (USA)



Map released: May 20, 2021

Data valid: May 18, 2021

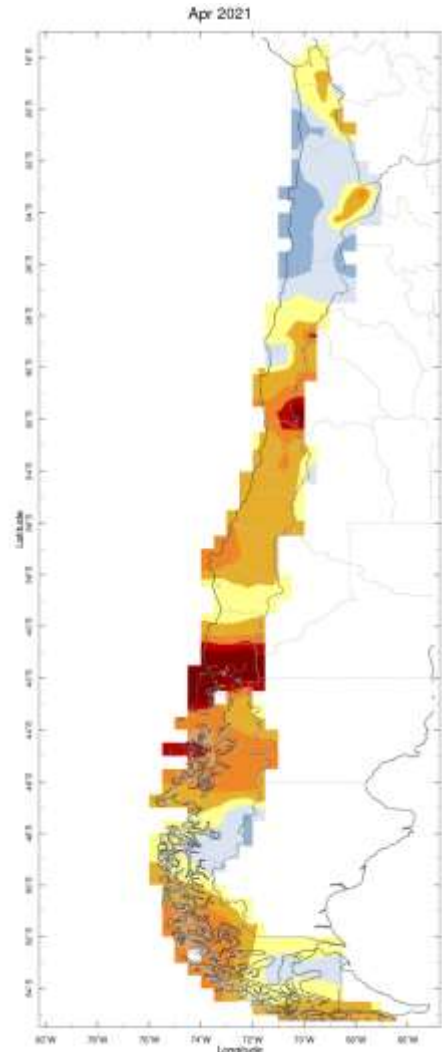


Category	Description	Possible Impacts	Ranges				
			Palmer Drought Severity Index (PDSI)	CPC Soil Moisture Model (Percentiles)	USGS Weekly Streamflow (Percentiles)	Standardized Precipitation Index (SPI)	Objective Drought Indicator: Weeks (Percentiles)
D0	Abnormally Dry	<ul style="list-style-type: none"> Going into drought: <ul style="list-style-type: none"> short-term dryness slowing planting, growth of crops or pastures Coming out of drought: <ul style="list-style-type: none"> some lingering water deficits pastures or crops not fully recovered 	-1.0 to -1.9	21 to 30	21 to 30	-0.5 to -0.7	21 to 30
D1	Moderate Drought	<ul style="list-style-type: none"> Some damage to crops, pastures Streams, reservoirs, or wells low, some water shortages developing or imminent Voluntary water-use restrictions requested 	-2.0 to -2.9	11 to 20	11 to 20	-0.8 to -1.2	11 to 20
D2	Severe Drought	<ul style="list-style-type: none"> Crop or pasture losses likely Water shortages common Water restrictions imposed 	-3.0 to -3.9	6 to 10	6 to 10	-1.3 to -1.5	6 to 10
D3	Extreme Drought	<ul style="list-style-type: none"> Widespread crop/pasture losses Widespread water shortages or restrictions 	-4.0 to -4.9	3 to 5	3 to 5	-1.6 to -1.9	3 to 5
D4	Exceptional Drought	<ul style="list-style-type: none"> Exceptional and widespread crop/pasture losses Shortages of water in reservoirs, streams, and wells creating water emergencies 	-5.0 or less	0 to 2	0 to 2	-2.0 or less	0 to 2

Análisis de sistemas nacionales e internacionales de monitoreo de sequías

Observatorio climático CNR

Índice de precipitación estandarizado

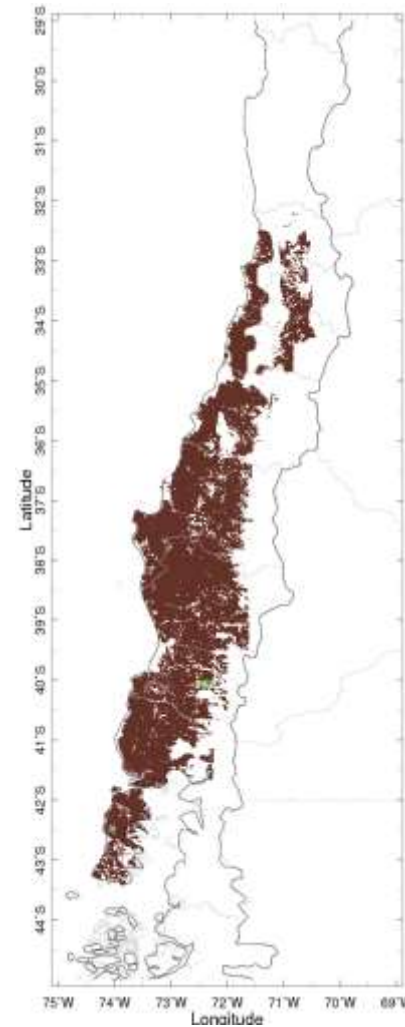


28-05-2021

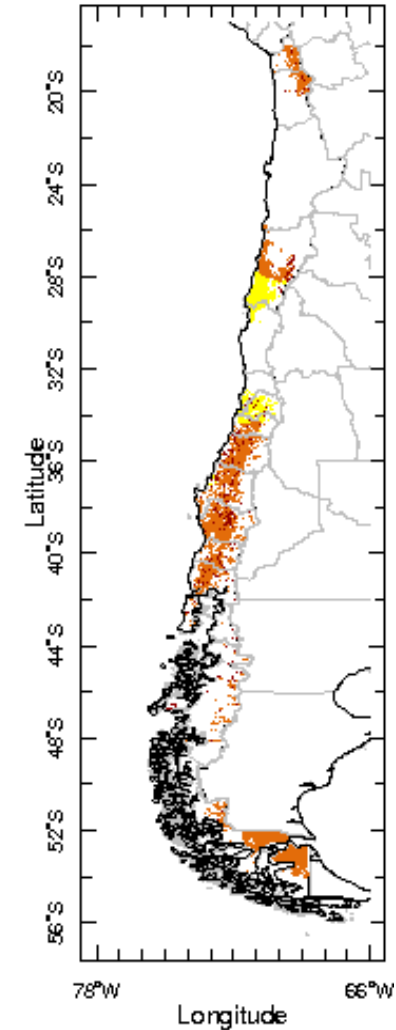
Caudales observados



Balance Hídrico del suelo



Índice combinado



Value	Category
more than 2	Extremely wet
between 1.5 and 2	Severely wet
between 1 and 1.5	Moderately wet
between 0.5 and 1	Wet
between 0 and 0.5	Normal
between 0 and -0.5	Normal
between -0.5 and -1	Moderately dry
between -1 and -1.5	Dry
between -1.5 and -2	Severely dry
less than -2	Extremely dry

Alerta	Condición de Sequía
Sequía Meteorológica	
1	Déficit en la precipitación (SPI-6 < -0.84)
Sequía Hidrológica	
2	Déficit en los caudales (ICE-6 < -0.84)
Sequía Agrícola	
3	Estrés hídrica en la vegetación (Anomalía de NDVI < -0.5)

DGA: Gestión de ciclos de sequía y escasez

Aug 2017

Análisis de sistemas nacionales e internacionales de monitoreo de sequías

Sistemas de monitoreo de sequías, síntesis



Atributos / Observatorios		NIDIS	USDM	NADM	EDO	SPEI	NSW	CRC-OSA	IRI	CRC-SAS	CNR
Objetivo	Generar información (1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Difundir Información (2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Aplicar políticas públicas (3)	✓	✓				✓				
	Investigación (4)	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
Servicios	Monitoreo (5)	Semanal	Semanal	Mensual	10 días	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual	15 días	Mensual
	Pronóstico (6)	✓	✓	✓					✓	✓	✓
	Periodo de referencia (7)	-	-	1951-	1981-2010	1901-2018	1980-2010	1981-	1979-	1981-2010	-
	Información disponible (8)	2000-	2000-	No	1975-	1955-	2017-	No	1979-	1981-	No
	Informes generales (9)	Trimestral	Semanal	Mensual							
	Informes especiales (10)	ocasional			ocasional			Ocasional		Ocasional	
Respuestas programadas (11)	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	Si	No	
Extensión	Multinacional (12)			Norte América	Europa	Global		Oeste Sudamérica	Global	Sur Sudamérica	
	Nacional (13)	EE. UU.	EE. UU.								Chile
	Regional (14)						N. S. W. (Austr.)				
Fuente Información	Estaciones Meteo. Pub. (15)	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓
	Estaciones Meteo. Priv. (16)						✓				✓
	Satelital Público (17)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Indicadores (18, 19)	Meteorológicos	Perce ntil	P (20)				✓			1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 Y 48	

Análisis de sistemas nacionales e internacionales de monitoreo de sequías

Sistemas de monitoreo de sequías, síntesis



Atributos / Observatorios		NIDIS	USDM	NADM	EDO	SPEI	NSW	CRC-OSA	IRI	CRC-SAS	CNR			
Indicadores (18, 19)	PNP	P				1, 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48 y 60				5, 10, 30 días	3	1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 Y 48	✓	
	SPI	P	✓	✓		1, 2, 3, 6, 9, 12 y 24	1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48			1 y 3 meses	1, 3, 6, 9 y 12	1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 Y 48	1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 Y 48	
	PDSI	P, T, CA	✓	✓		Mensual								
	SPEI	P, T										1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 Y 48		
	Humedad	SMA	P, T, CA	✓	✓	✓	10 días		✓				✓	
	Hidrológico	SSFI	Q	✓	✓	✓	10 días						✓	
	Percepción Remota	EVI	Sat										Mensual	
		NDVI	Sat	Semanal							Mensual	Mensual	Mensual	✓
		TCI	Sat					Diario			Mensual			✓
		VCI	Sat					10 días						✓
Combinados	CDI	P, Sat, M	Semanal	Semanal	Mensual	10 días		Mensual						

Caracterización de información hidrometeorológicas y productos grillados

Propiedades de bases de datos y sistemas de información

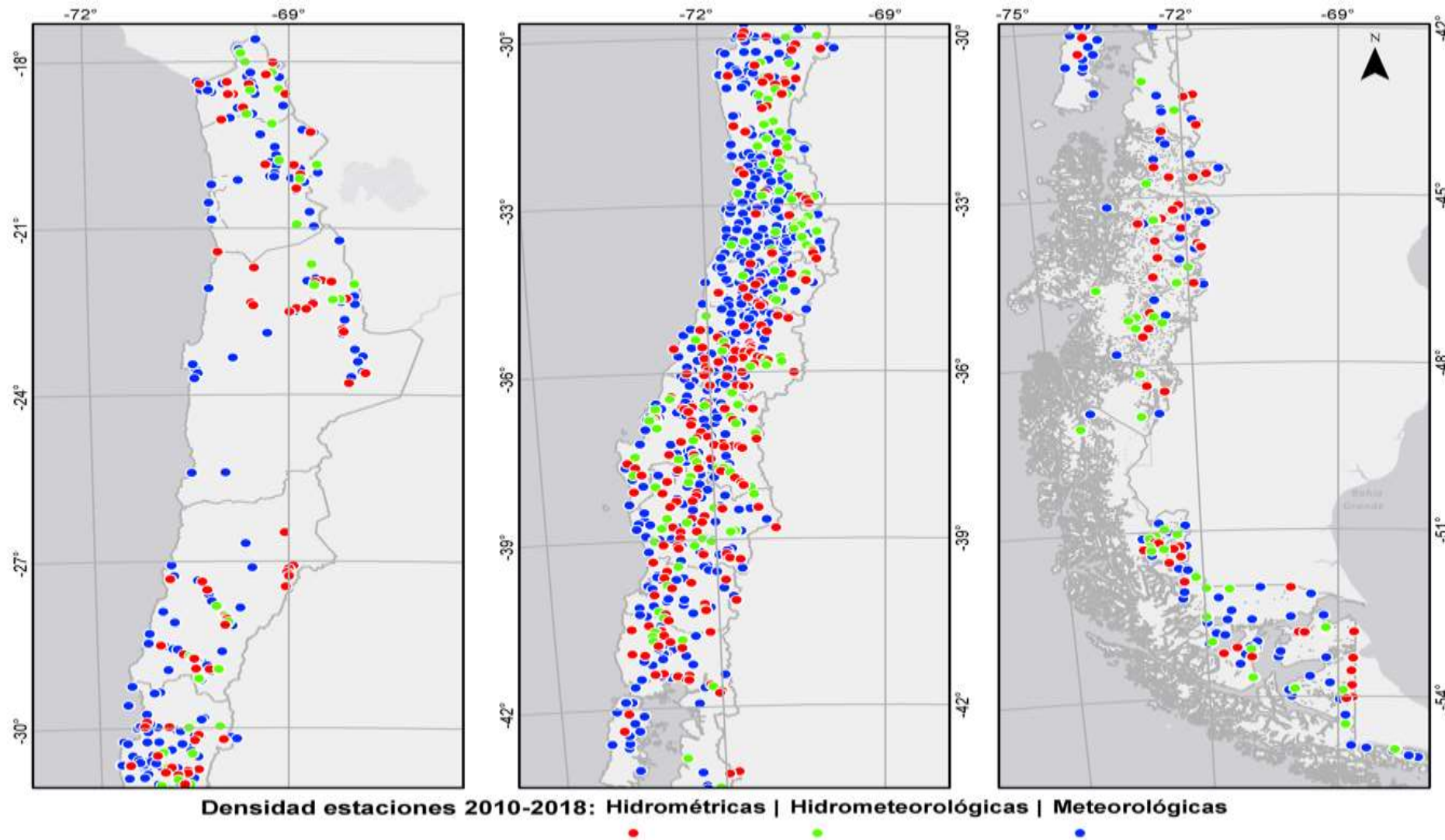


- La construcción de indicadores de sequía requiere de registros hidrometeorológicos
- Se recopila información de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), de la Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), del Consorcio de Vinos de Chile (MTV) y del Sistema de Información de Calidad de Aire (SINCA)

Cantidad de estaciones de la red hidrométrica en operación durante el periodo 1950-2018.

Fuente	Precipitación	Temperatura	Caudal	Niveles de pozos	Niveles de lagos y embalses	Rutas de nieve
DGA	840	340	809	1094	72	16
DMC	571	302	0	0	0	0
FDF	112	135	0	0	0	0
INIA	106	105	0	0	0	0
MTV	61	38	0	0	0	0
CEAZA	52	73	0	0	0	0
SINCA	30	82	0	0	0	0
Total	1772	1075	809	1094	72	16

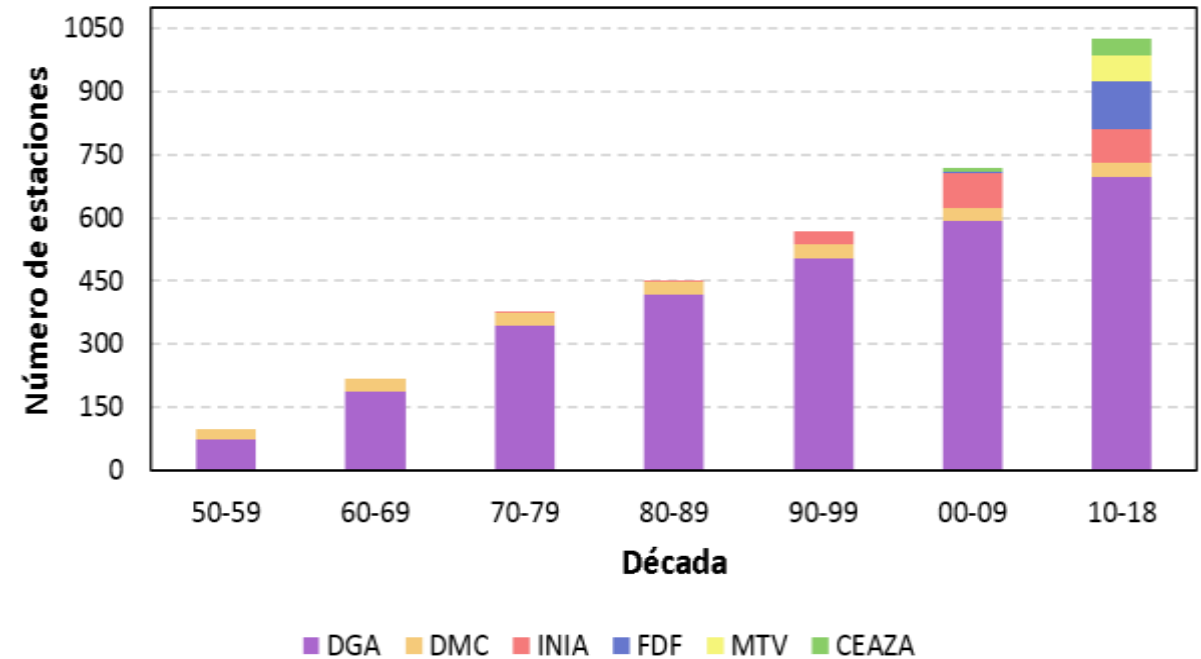
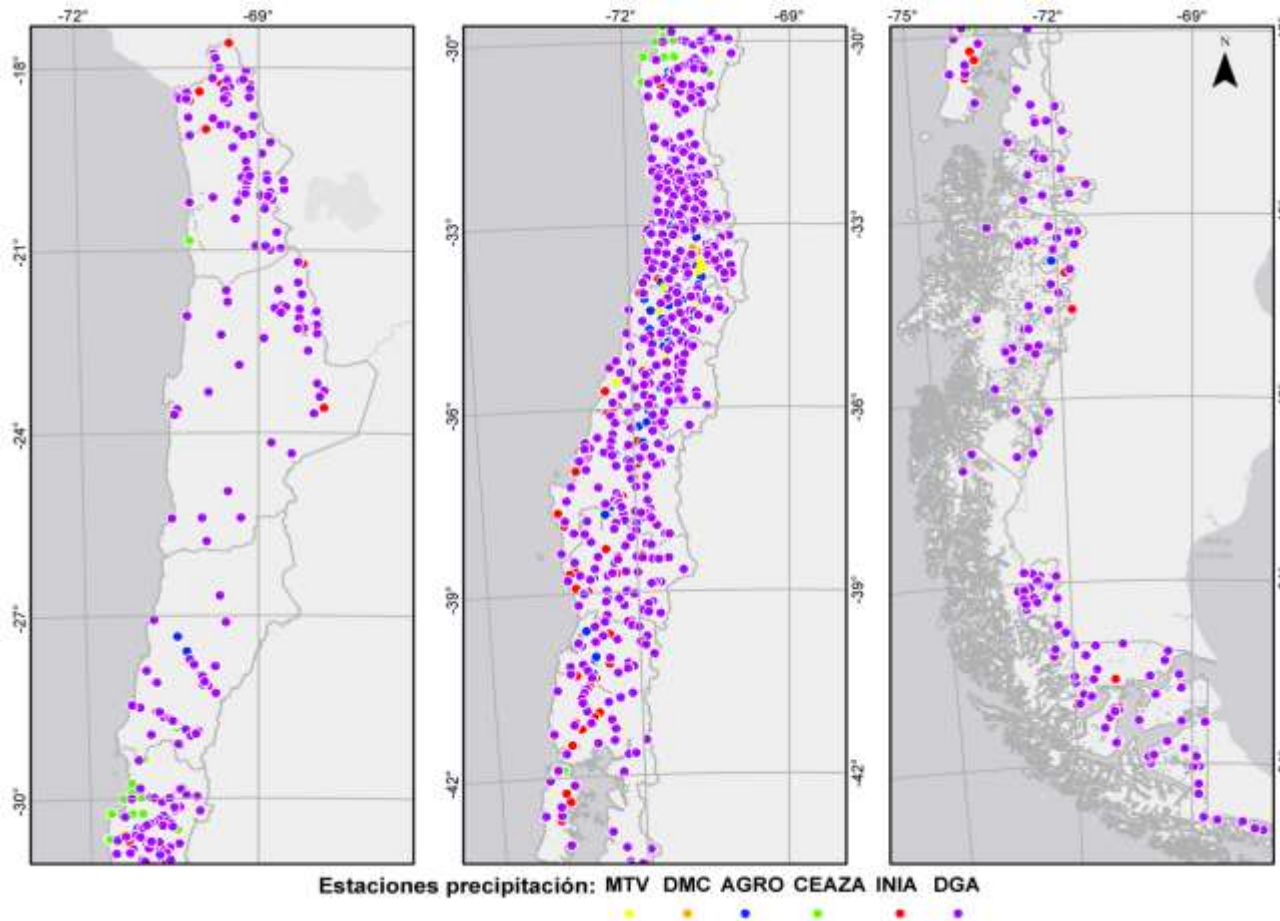
Redes hidrometeorológicas, tipo estación



Redes hidrometeorológicas, fuente estación



En las últimas décadas ha habido un aumento sostenido de la cantidad de estaciones meteorológicas, lo cual permite una mejor caracterización de los fenómenos climáticos en el territorio.

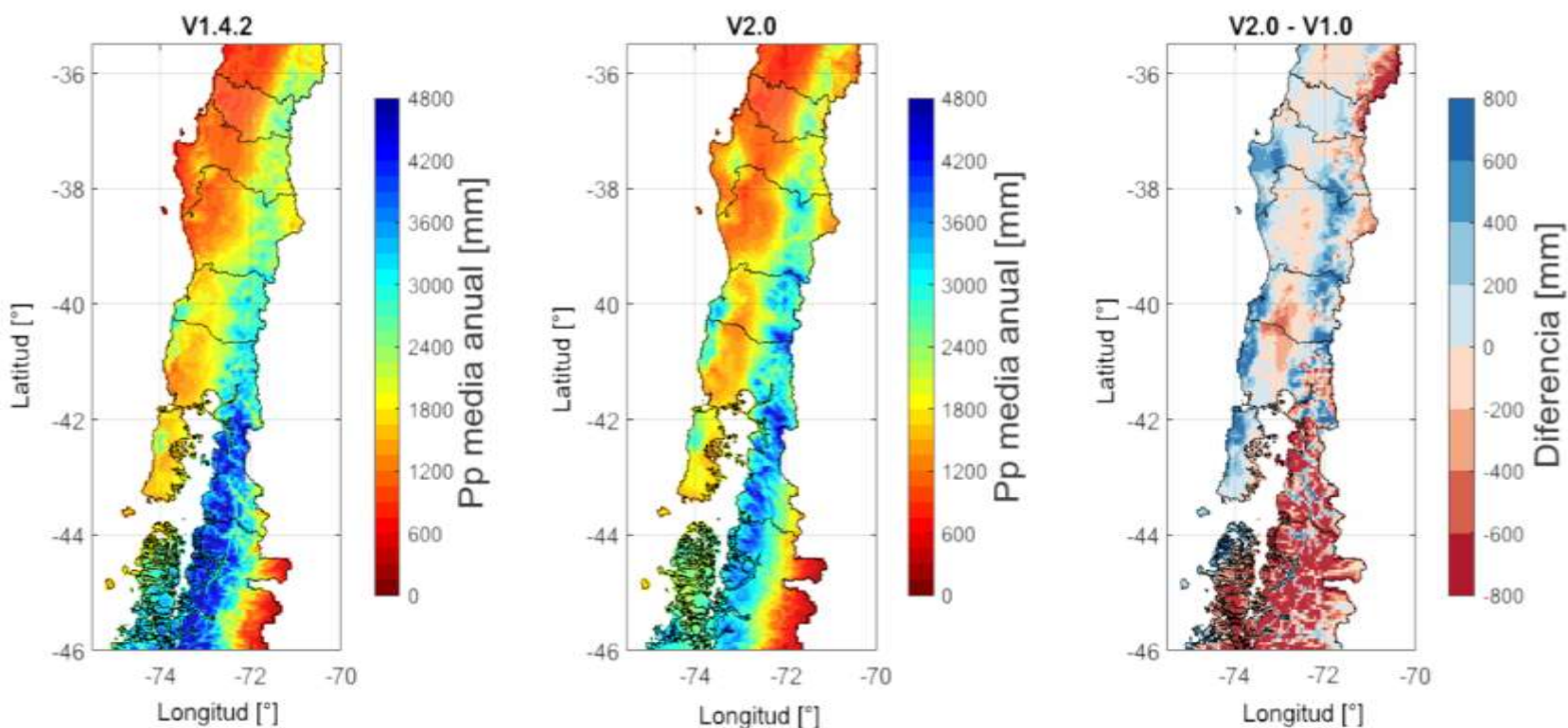


Cantidad de estaciones de precipitación disponibles por décadas, desde 1950 hasta 2018.

Producto Grillado CR2MET



CR2MET contiene información de las forzantes meteorológicas (i.e. precipitación, T_{min} , T_{med} , T_{max} , humedad relativa y velocidad del viento) en un grilla de resolución 0,05° latitud-longitud para Chile continental, periodo 1979-2018. Ha sido utilizado en el estudio del clima e hidrología regional y la evaluación de modelos atmosféricos.



28-05-2021

Ejemplo de información entregada por CR2MET para precipitación anual en las versiones 1 y 2 para la centro-sur de Chile (Fuente DGA, 2019).

DGA: Gestión de ciclos de sequía y escasez

Evaluación de pertinencia de otras fuentes de información satelital

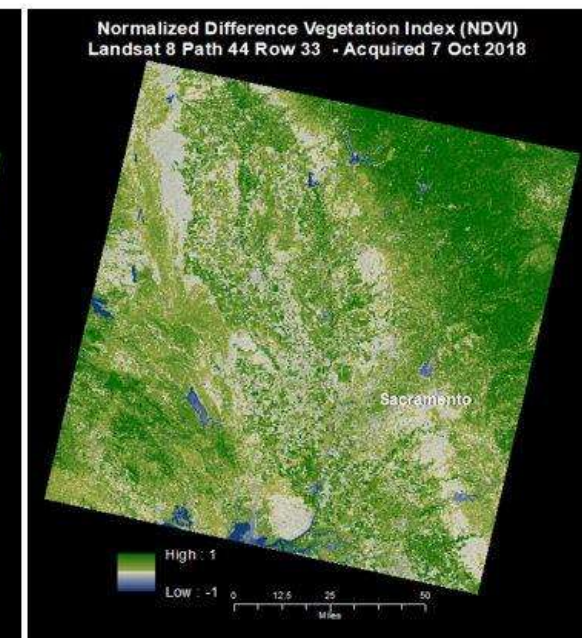
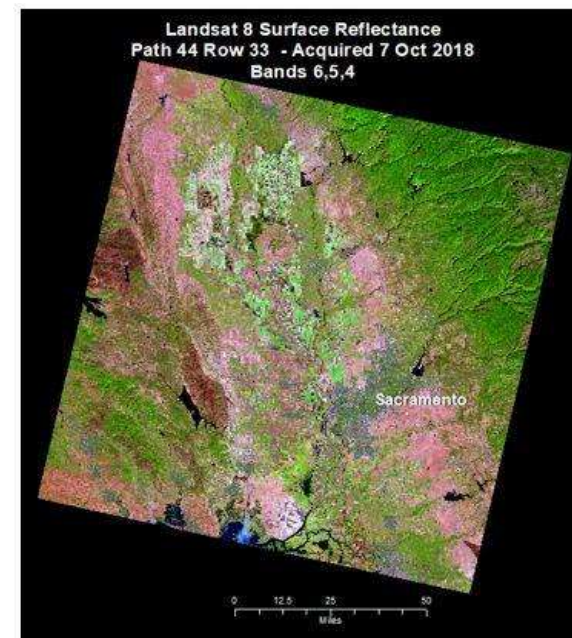
Información satelital accesible

Los satélites en órbita llevan consigo instrumentos de medición que tienen como finalidad observar y monitorear la superficie terrestre.

La información satelital más usada en monitoreo de recursos naturales e investigación científica son los productos derivados de los satélites MODIS y LANDSAT.

Principales atributos de ambos productos:

	LANDSAT	MODIS
Resolución temporal	16 días	1 o 2 días
Resolución espacial	30 m por pixel	250 m por pixel
Longitud de registros (Primera misión)	Desde 1972	Desde 1999



Focus group

Focus group

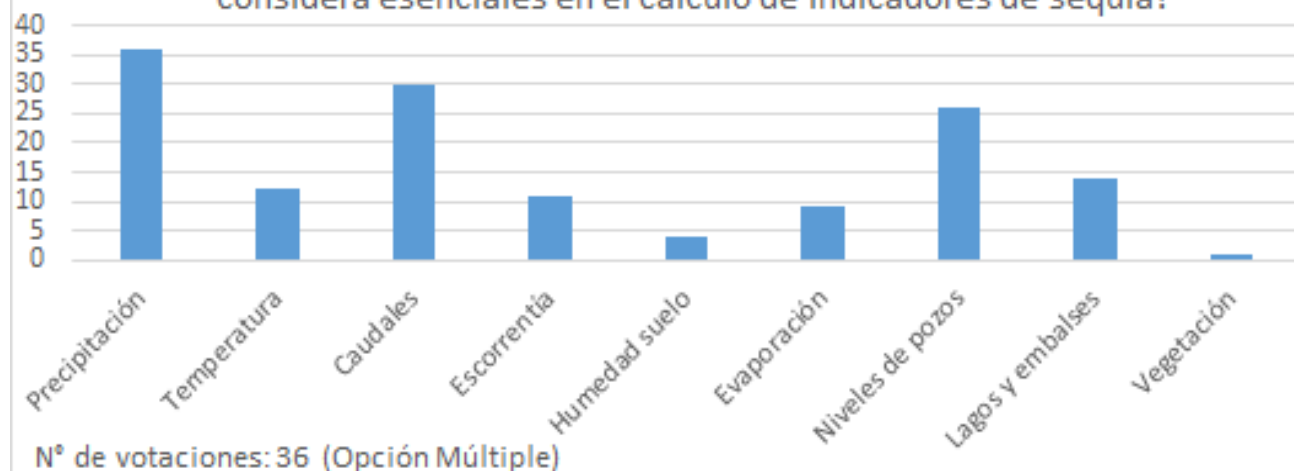
- 14 y 15 de julio
- Representantes de instituciones de la comunidad científica, sector privado, sector público-ejecutivo, sociedad civil y organismos internacionales con presencia en Chile
- Actividad de trabajo en grupos (papelógrafos) basada en 3 temas: (1) Identificación y caracterización de sequías y escasez hídrica, (2) Identificación y gestión de periodos de escasez, (3) Atributos plataforma de monitoreo y seguimiento (PMS)
- Mentimeter en sesión plenaria



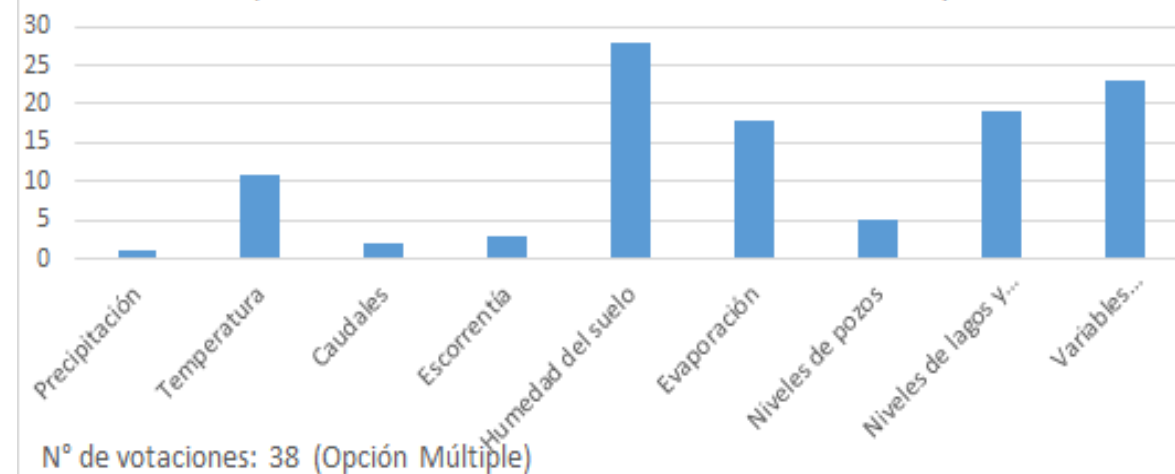
Focus Group: Principales resultados

La última actividad de los Focus Group consistió en una sesión de preguntas y respuestas interactiva a través de Mentimeter, se respondió algunas preguntas discutidas en los trabajos grupales.

1.1) ¿Qué variables hidrometeorológicas o físicas en general considera esenciales en el cálculo de indicadores de sequía?

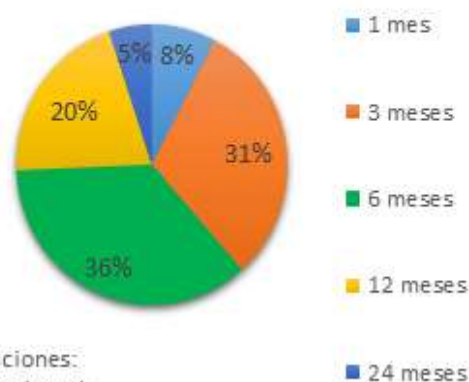


1.2) ¿Qué variables hidrometeorológicas o físicas en general considera complementarias en el cálculo de indicadores de sequía?



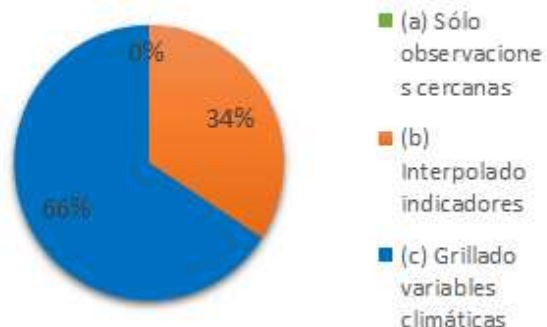
Focus Group: Principales resultados

2) ¿Qué ventana de tiempo o acumulación considera esencial en la cuantificación de



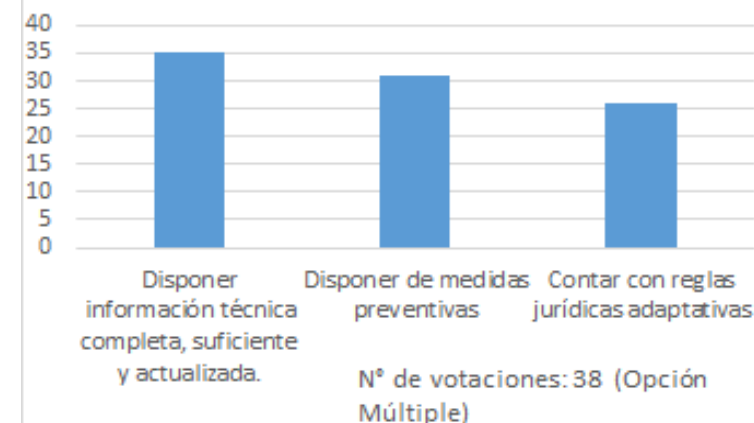
N° de votaciones:
39 (Opción única)

3) Espacialmente, en lugares sin información, ¿que se debiera utilizar?

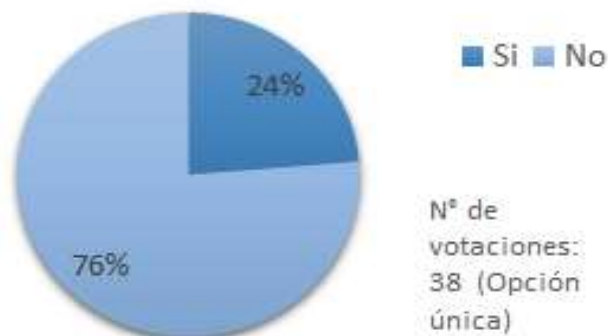


N° de votaciones: 38
(Opción única)

4) ¿Cuáles son, a su juicio, los aspectos centrales para una adecuada gestión de las

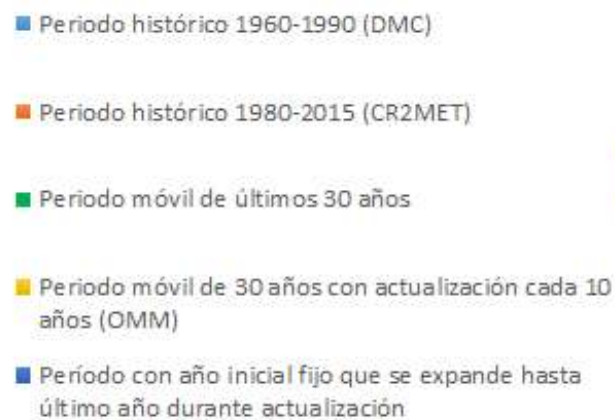


1) ¿Es procedente/adecuado que una declaración de zona de escasez tenga duración temporal fija?



N° de votaciones:
38 (Opción única)

4) ¿Qué periodo de tiempo consideraría como referencia para el cálculo de indicadores de sequía?



N° de votaciones: 37
(Opción única)

Focus Group: Principales resultados

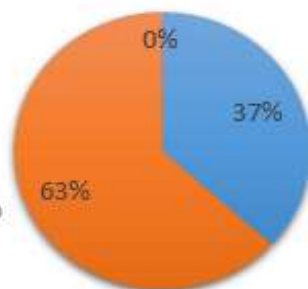
1) ¿Cuál debiese ser el público objetivo de plataforma? (Sin perjuicio de los estándares de transparencia del Estado)

■ Abierto a todo público

■ Abierto a todo público con información diferenciada

■ Abierto solo a un grupo de usuarios

N° de votaciones:
38 (Opción única)



4.1) ¿Cuál debe ser la unidad espacial para la visualización de información?

■ Pixel de grilla

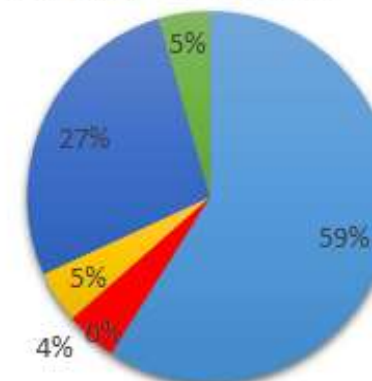
■ Estación

■ Comuna

■ Subcuenca

■ Cuenca

■ Región



N° de votaciones: 22 (Opción única, día martes)

3) ¿Cuál es la más adecuada periodicidad de actualización de la plataforma de monitoreo y seguimiento (PMS) y de la información que contiene?

■ Semanal

■ Quincenal

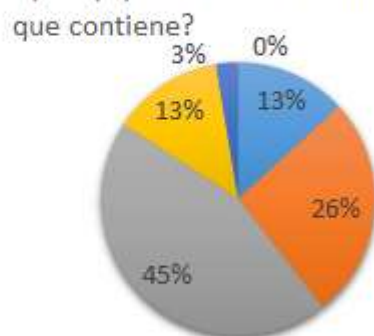
■ Mensual

■ Trimestral

■ Semestral

■ Anual

N° de votaciones:
38 (Opción única)

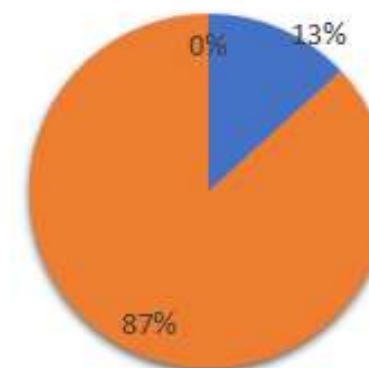


5) ¿Cuántos niveles de severidad o similar considera pertinente para definir una situación de escasez?

■ 2 (Normal, sequía extraordinaria)

■ 3 (Normal, sequía incipiente, sequía extraordinaria)

■ Más de 3 (Normal, incipiente, moderada.... extraordinaria)



N° de votaciones: 38 (Opción única)

Discusión de opciones para el diseño de un observatorio de sequías en Chile



- Experiencia Nacional, Internacional y Focus group muestran lo relevante de la temáticas
- Existen elementos actuales en la gestión de sequías que son poco apreciados por la comunidad: e.g. carácter reactivo de la gestión, condición binaria se la sequía en normativa, duración fija de decreto de escasez.
- Hay consensos alineados con la experiencia internacional: e.g. consideración de distintos indicadores asociados al tipo de sequía y el uso de un indicador global o heurística; uso de información satelital de apoyo; actualización en la ventana de tiempo de referencia
- Hay aspiraciones que deben ser aterrizadas dado el contexto: e.g. periodicidades de actualización de plataforma, instrumentación hidrometeorológica, resoluciones espaciales, etc.



Propuesta de índices de sequía

¿Qué es un índice estandarizado?



- Un índice estandarizado se define como un **valor numérico** que representa el número de **desviaciones estándar** de una variable, para un **periodo de acumulación**, respecto a la condición media.
- El clásico índice estandarizado es el IPE (índice de precipitación estandarizado) definido como un **valor numérico** que representa el número de **desviaciones estándar** de la **precipitación** caída, para un **periodo de acumulación**, respecto a la media.
- Desarrollado por McKee et al. (1993) para poder **cuantificar el déficit de precipitación** para diferentes escalas temporales y evaluar el impacto de este déficit sobre la disponibilidad de los distintos tipos de recursos hídricos.
- La metodología y concepto de IPE ha sido aplicado en otras **variables hidrometeorológicas** como los caudales (ICE) o un balance hídrico al incluir la evapotranspiración (IPEE).

2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

Grados de sequedad (internacional)

¿Qué es un índice estandarizado?



- Utilizado en **investigaciones** o en **modo operativo** en más de 70 países.
- Aplicable a zonas extensas y de diferente condición climática, con un **criterio común** con el riesgo de ocurrencia de las sequías.
- El hecho de **clasificarlas** de acuerdo a su **probabilidad** de ocurrencia hace que se evite que situaciones comunes sean calificadas de extraordinarias.
- Cada índice estandarizado se comporta como una **variable normal estándar**.

Probabilidad de ocurrencia

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

Índices básicos



Tabla 3.1: Nombres y siglas de los indicadores básico en base a datos de estaciones

Internacional (inglés)		Nacional (español)		Variables, unidad
Nombre	Sigla	Nombre	Sigla	
Standardized Precipitation Index	SPI	Índice de Precipitación Estandarizado	IPE	Precipitación, mm
Standardized Stream Flow Index	SSFI	Índice de caudales Estandarizado	ICE	Caudal, m ³ /s
Standardized Water level Index	SWI	Índice de nivel de Agua Subterránea Estandarizado	IASE	Nivel del acuífero, m
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index	SPEI	Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado	IPEE	Precipitación y Evapotranspiración Potencial, mm

Índices básicos



1. Para el caso del IPE e ICE, se utiliza información de precipitación y caudales de estaciones DGA.
2. Para el caso del IPEE, se utiliza información de temperatura mínima y máxima en las estaciones para el cálculo de ET_0 con el método de Hargreaves.
3. Para el caso del IASE, se utilizan niveles de pozos (existen muy pocas estaciones con una calidad de información suficiente para este propósito).

Índices básicos, cálculo



- Definir **escala de tiempo** para los cálculos (periodo de acumulación)
- La calidad del indicador estará relacionada con la **calidad de los datos** originales utilizados en el análisis.
- Datos pueden tener **distribuciones de probabilidad** continuas o mixtas (valores nulos), particularmente zonas semiáridas

Registro de precipitación Potrero Grande

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Ju1	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1989	0.50	0.00	0.50	0.00	34.00	166.50	202.00	126.00	19.00	16.00	0.00	30.50
1990	4.00	9.50	82.10	75.10	112.00	63.50	132.70	37.00	170.50	33.00	21.00	0.00
1991	19.50	0.00	0.00	47.00	244.00	174.50	125.50	51.00	100.50	57.00	16.50	75.00
1992	0.00	6.00	55.60	98.10	526.60	414.70	72.00	102.50	94.50	42.00	24.50	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	82.90	273.20	363.90	102.00	144.50	0.00	62.00	20.50	15.00
1994	1.00	9.60	4.50	107.90	112.00	282.20	228.20	42.70	118.50	55.50	7.50	42.00
1995	0.00	6.50	0.00	117.00	67.00	298.50	340.80	174.20	37.50	87.00	0.00	0.00
1996	0.00	25.00	28.50	101.00	97.30	125.50	71.50	151.00	3.50	15.00	27.50	0.00
1997	2.00	22.50	0.00	103.00	122.50	419.50	132.00	99.70	149.00	183.00	49.50	9.00
1998	0.00	0.00	4.00	34.60	102.70	109.00	28.50	55.50	67.00	0.00	0.00	0.00
1999	3.00	15.00	7.00	15.00	79.00	204.00	70.50	100.50	241.50	13.50	0.00	0.00
2000	0.00	93.50	0.00	9.00	121.50	463.50	66.50	54.00	188.90	17.00	11.50	6.00
2001	56.00	0.00	4.00	73.00	281.20	167.50	342.00	165.00	25.00	15.50	25.00	0.00
2002	0.00	92.50	84.00	50.50	217.00	123.50	155.50	336.00	125.70	135.50	33.90	4.50
2003	15.50	0.00	0.00	10.00	74.00	201.50	81.00	69.50	79.50	29.00	56.00	6.00
2004	0.00	7.50	50.90	160.50	32.50	147.00	197.00	116.50	66.50	80.00	46.00	22.00
2005	0.00	0.00	34.50	14.00	188.60	333.70	171.50	214.20	57.50	19.50	43.50	25.50
2006	20.00	12.50	0.00	77.60	73.50	281.00	278.50	163.00	63.25	87.50	0.00	45.50
2007	9.00	49.50	14.50	39.00	15.40	67.00	187.50	89.00	21.00	20.50	0.00	24.50
2008	2.50	0.00	4.00	94.20	296.00	121.50	184.50	149.50	46.00	17.00	0.00	3.20
2009	5.00	0.00	0.00	4.50	153.50	198.00	112.00	215.00	48.00	77.50	37.00	0.00
2010	0.50	14.50	0.00	1.00	68.90	177.50	124.50	72.50	20.70	51.50	20.00	17.50
2011	23.00	0.50	26.00	67.50	86.00	172.50	123.50	222.50	60.00	15.00	7.00	0.00
2012	0.00	58.00	0.00	0.00	108.50	149.80	29.90	88.00	6.50	73.50	15.00	79.50
2013	0.00	13.50	2.00	4.50	173.00	96.00	133.00	95.50	66.50	31.00	15.75	0.00
2014	0.50	6.00	39.00	48.00	105.00	214.80	167.50	107.00	111.50	14.00	2.50	19.00
2015	0.00	0.00	4.50	27.50	73.00	61.00	187.50	188.50	87.00	99.50	1.00	0.00
2016	5.50	0.00	0.00	101.00	34.50	8.00	121.30	25.50	63.25	33.00	15.75	4.50
2017	0.00	1.60	4.00	48.00	107.20	186.10	117.80	174.10	55.80	54.40	32.50	4.50
2018	0.50	6.00	4.00	48.00	107.85	173.50	132.00	107.00	63.25	33.00	15.75	4.00
2019	0.20	1.00	0.00	1.50	163.10	139.30	132.00	107.00	58.50	19.50	4.10	0.30

Índices básicos, cálculo



Debido a la posible existencia de valores nulos, la probabilidad acumulada se define por medio de la función mixta $H(x)$

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

donde q es la probabilidad que los datos tomen valor cero, la que puede estimarse empíricamente usando los m valores nulos del total de N valores en la serie:

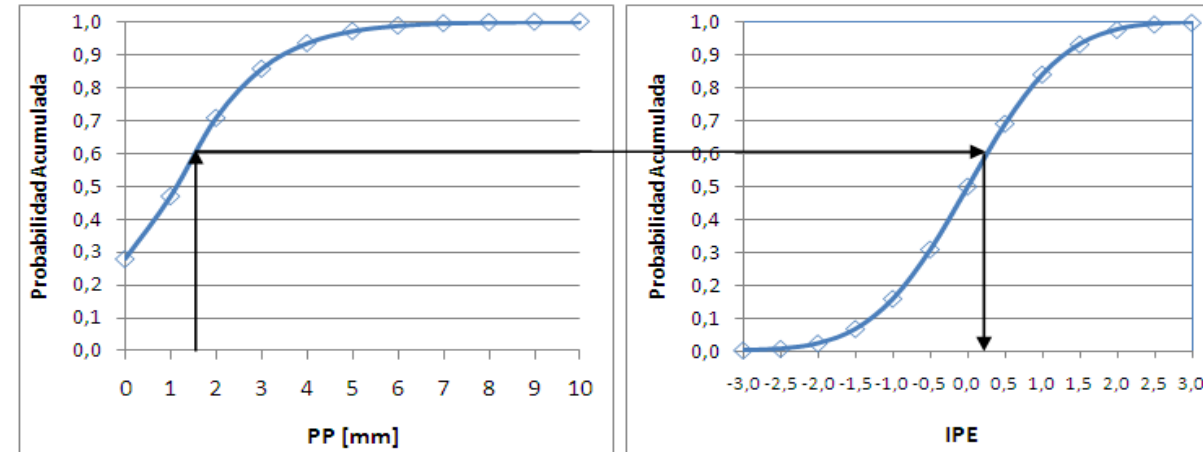
$$q = m/N$$

La distribución $G(x)$ se ajusta considerando solo aquellos valores distintos de cero .

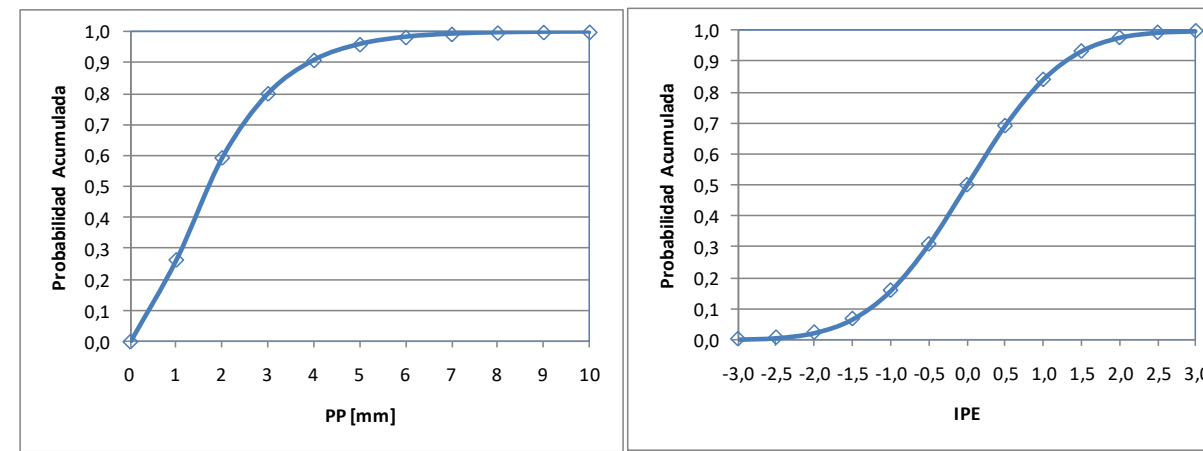
Para estimar el valor del IPE correspondiente al valor actual de la serie X , se calcula la probabilidad acumulada $H(x)$. Esta probabilidad, es luego transformada a una variable aleatoria normal estándar Z con media cero y varianza uno, que corresponde al valor de IPE.

Índices básicos, cálculo

- Las distintas distribuciones $H(x)$ dependen del mes y del periodo de acumulación (1, 3, 6, 12, etc. meses), y reflejan el comportamiento histórico.
- Cada distribución es caracterizada por los parámetros de ajuste.
- $H(x)$ se utiliza para mapear la probabilidad acumulada, la que se utiliza para el cálculo del índice usando la función normal estándar

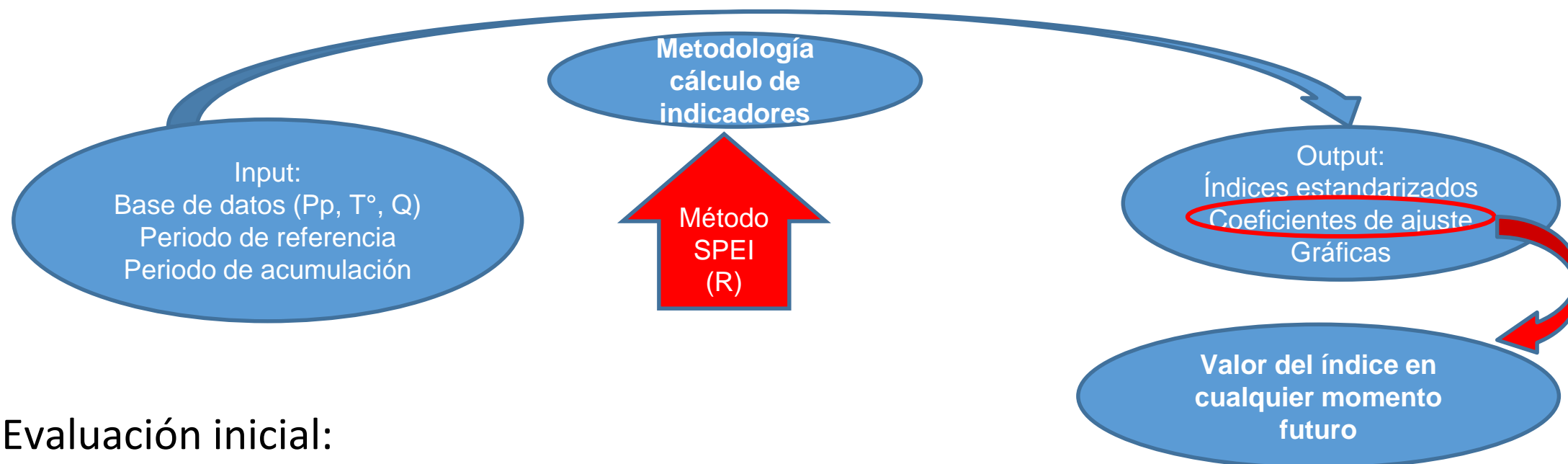


Transformación de una distribución mixta a una distribución Normal Estándar.



Transformación de una distribución continua a una distribución Normal Estándar.

Cálculo de indicadores, ejecución



Evaluación inicial:

- Validación de metodología (comparación con procedimiento de cálculo actual)
- Efecto del periodo de referencia en valores de IPE e ICE
- Comportamiento de nuevos indicadores (IPEE y IASE)
- Recomendaciones básicas para uso y cálculo de indicadores

Sectorización del país para revisar los efectos del análisis

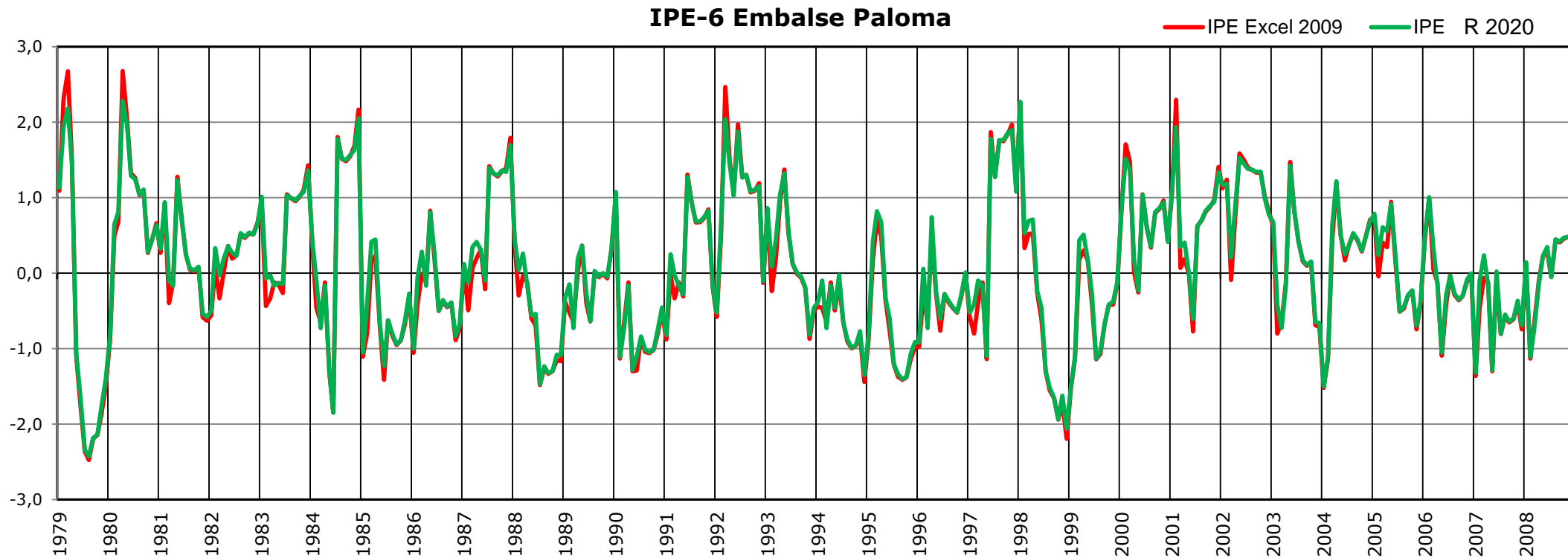
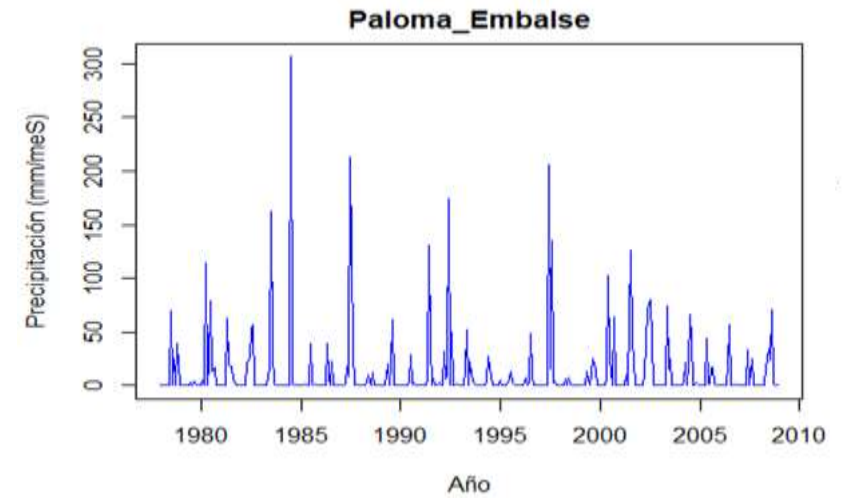


Región	Macrozonas				
	Ministerio del Medio Ambiente	Ministerio de Ciencias	DGA	Mesa Nacional del Agua	Propuesta
Arica y Parinacota	Norte	Norte	Norte	Zona 1	Norte
Tarapacá					
Antofagasta					
Atacama	Centro	Centro	Centro	Zona 2	Centro Norte
Coquimbo					
Valparaíso		Metropolitana ⁽¹⁾		Zona 3	Centro
Metropolitana ⁽¹⁾					
O'Higgins	Centro-Sur	Centro-Sur	Centro	Zona 4	Centro Sur
Maule					
Ñuble ⁽²⁾					
Biobío	Sur	Sur	Sur ⁽²⁾	Zona 5	Sur
Araucanía					
Los Ríos					
Los Lagos					
Aysén	Austral	Austral	Austral	Zona 6	Austral
Magallanes					

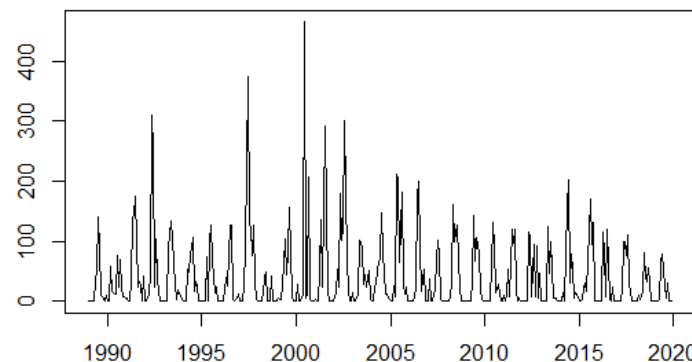


Tabla 3.7: Macrozonas consideradas para el análisis espacial de los indicadores.

Validación de metodología: IPE propuesto vs. IPE implementado actualmente



Diferentes periodos de acumulación, estación Potrero Grande

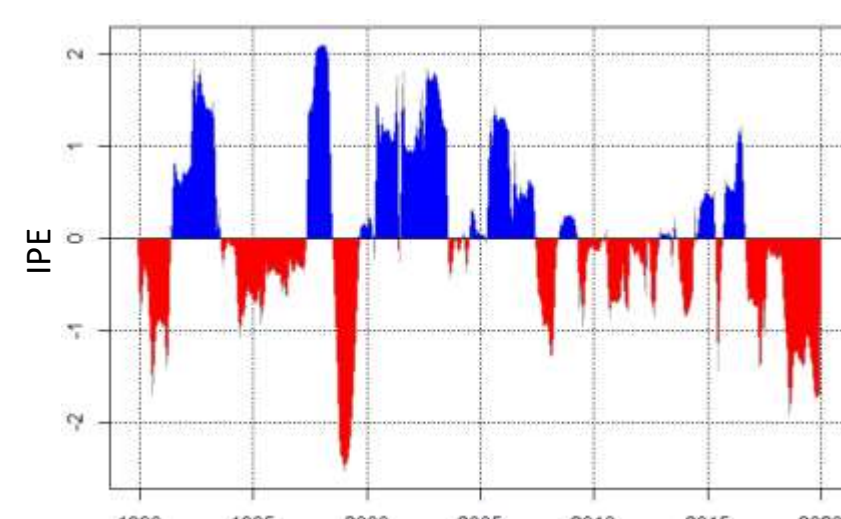
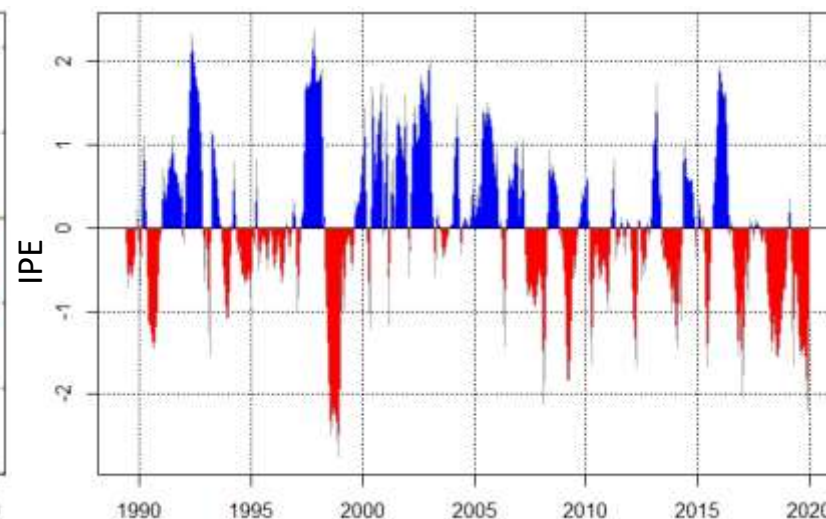
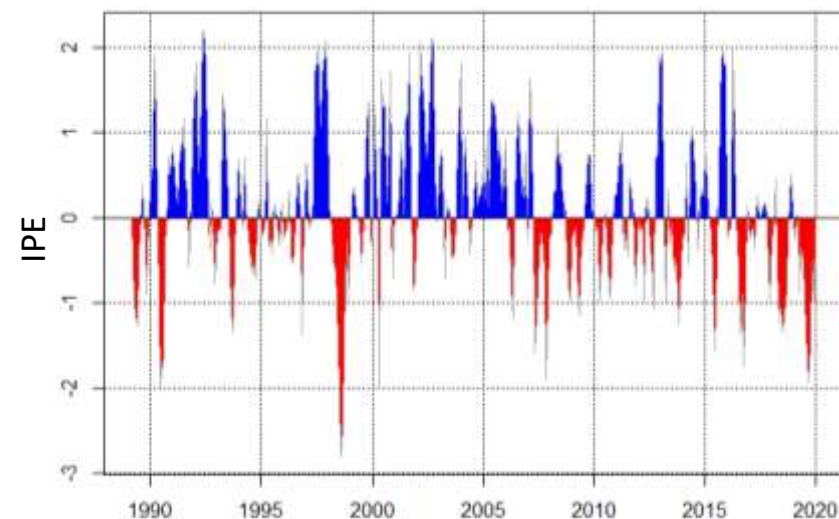


Registro Precipitación Potrero Grande

3 meses de acumulación

6 meses de acumulación

Año
12 meses de acumulación



Año

Año

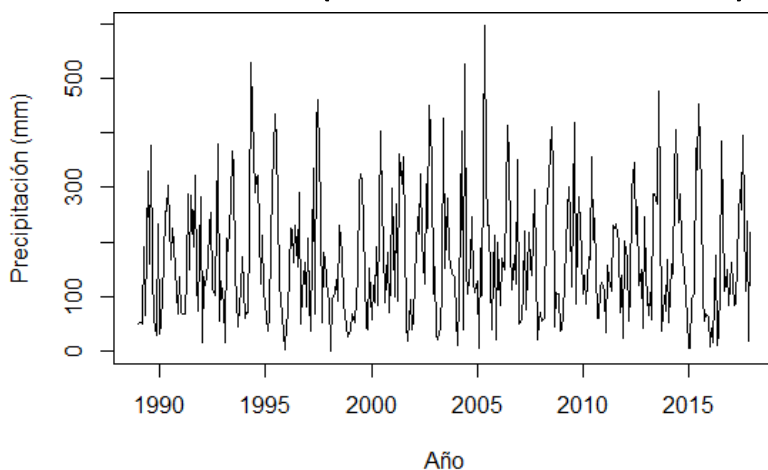
Año

DGA: Gestión de ciclos de sequía y escasez

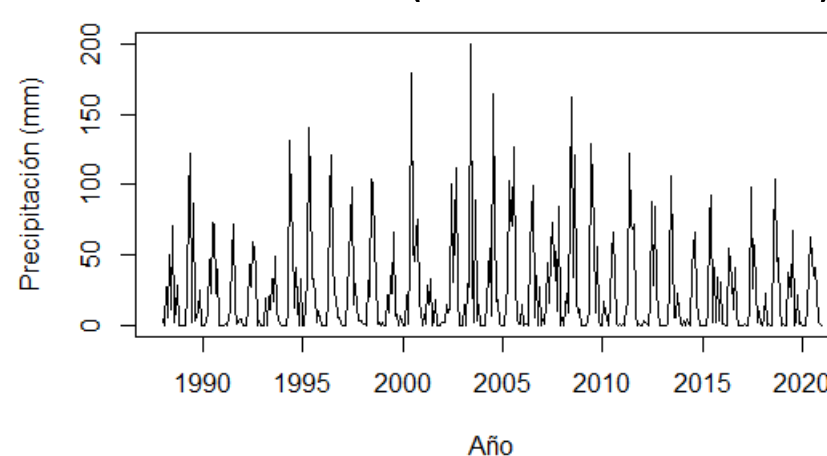
IPE-6 en diferentes zonas



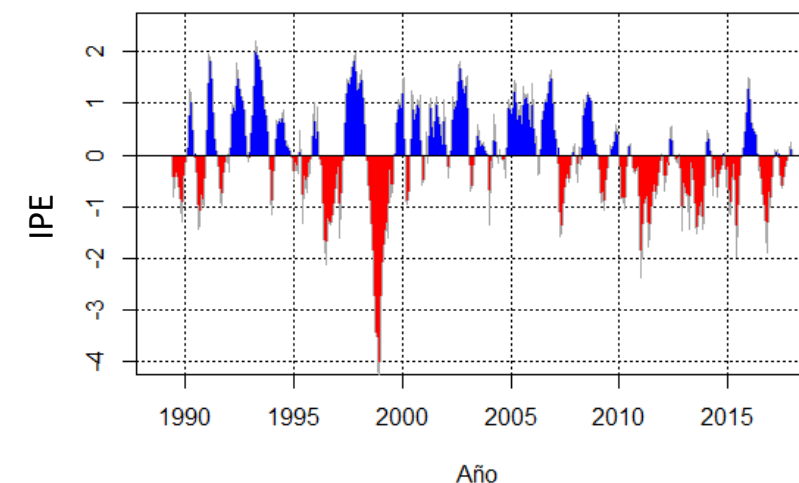
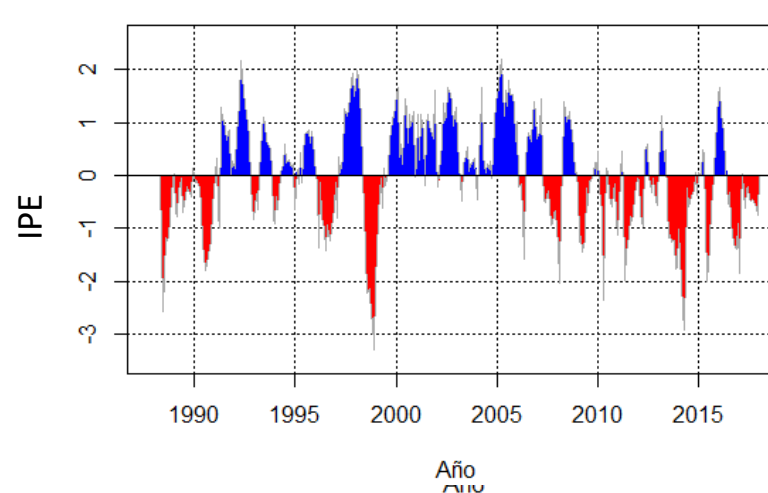
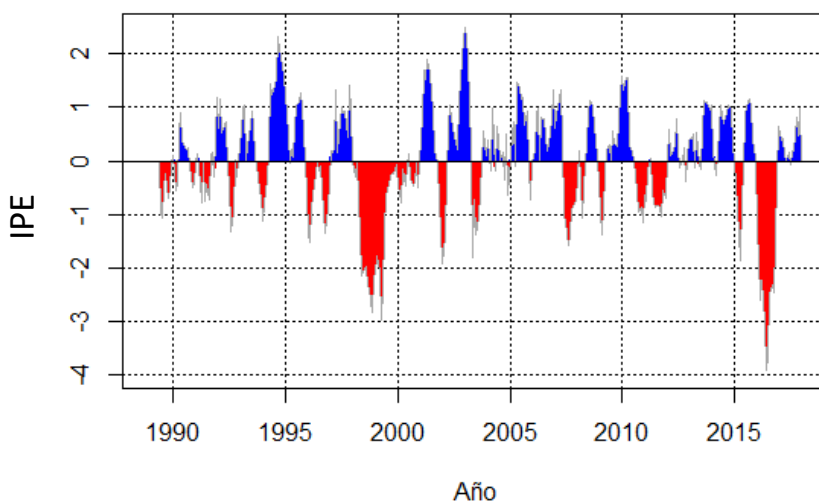
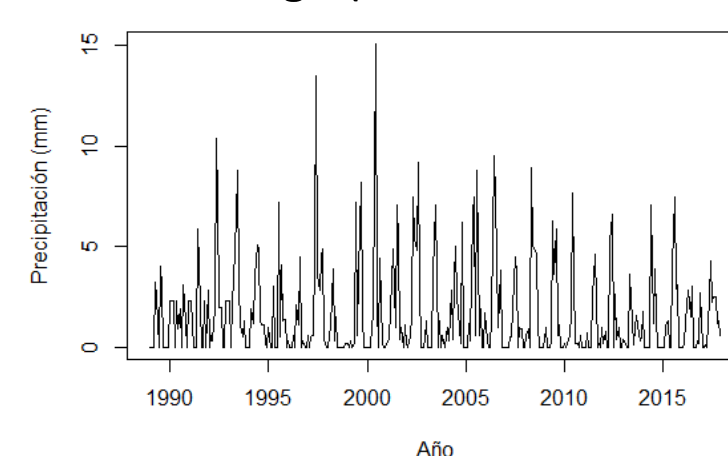
Futaleufú (macrozona austral)



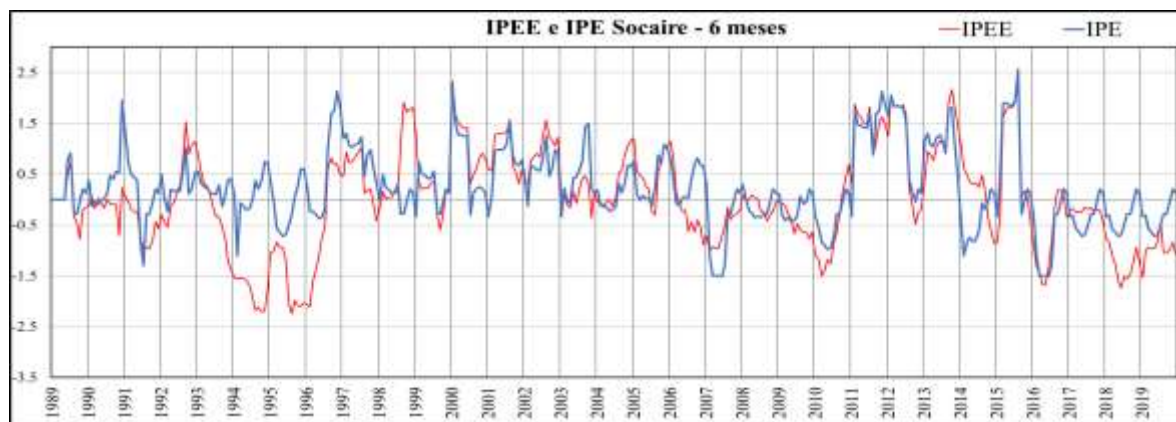
Cerro Calán (macrozona centro)



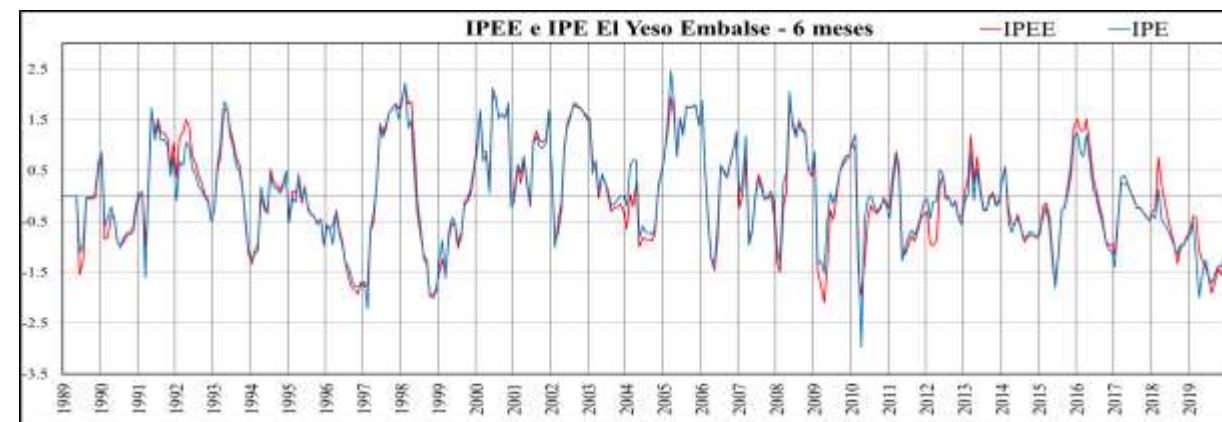
La Ortiga (macrozona norte)



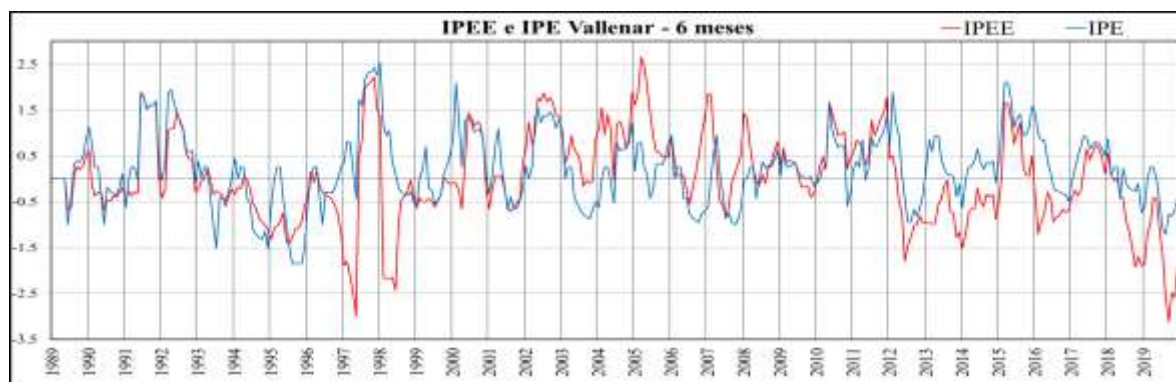
Comparación IPE e IPEE en diferentes zonas:



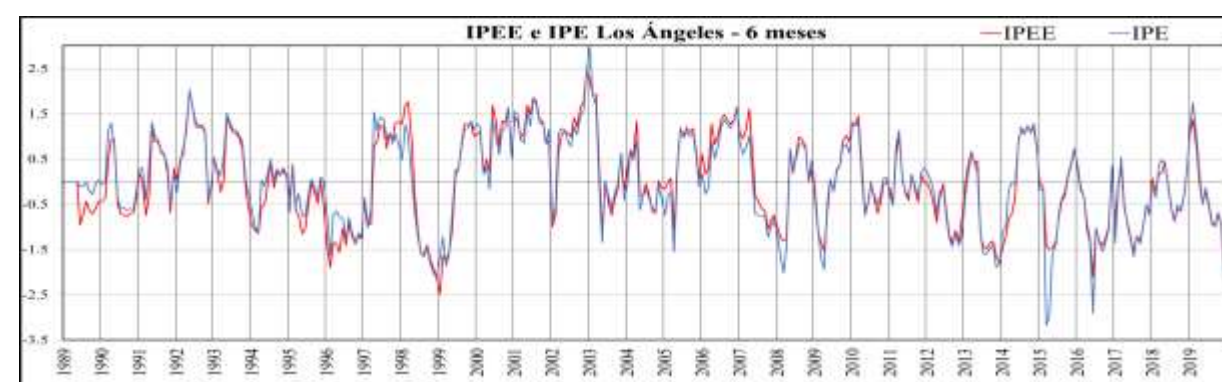
Macrozona norte



Macrozona centro

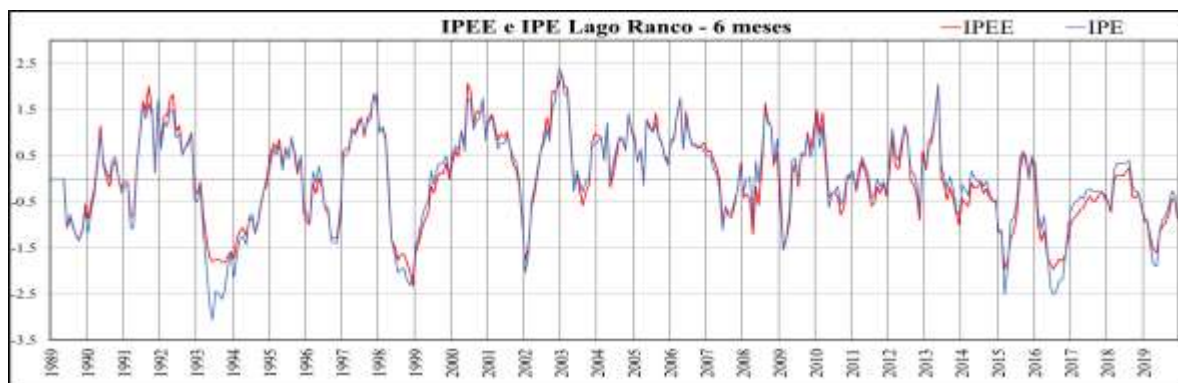


Macrozona centro norte



Macrozona centro sur

Comparación IPE e IPEE en diferentes zonas:



Macrozona sur



Macrozona austral

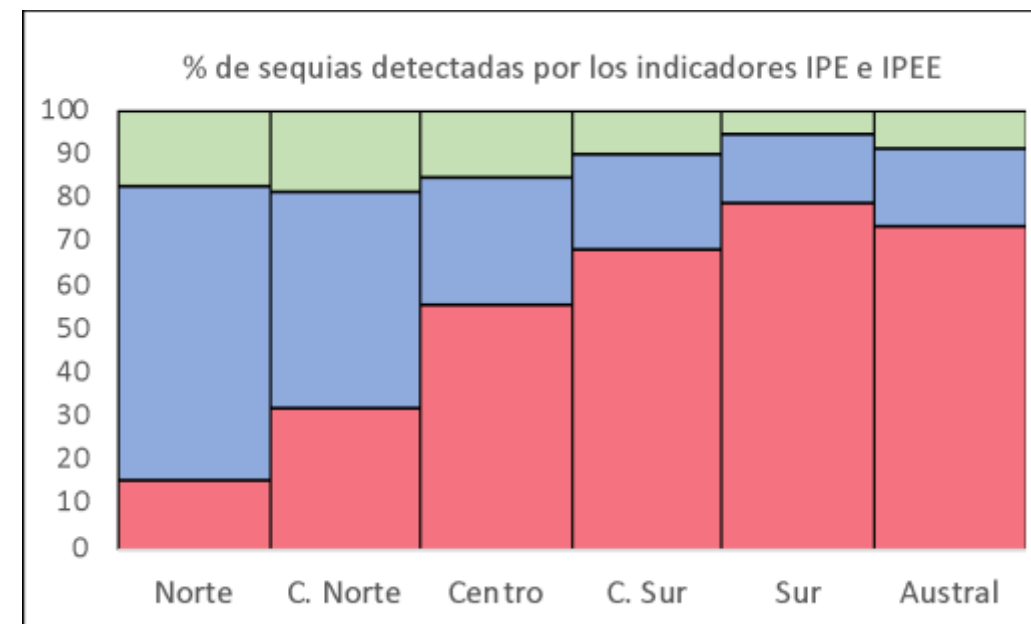
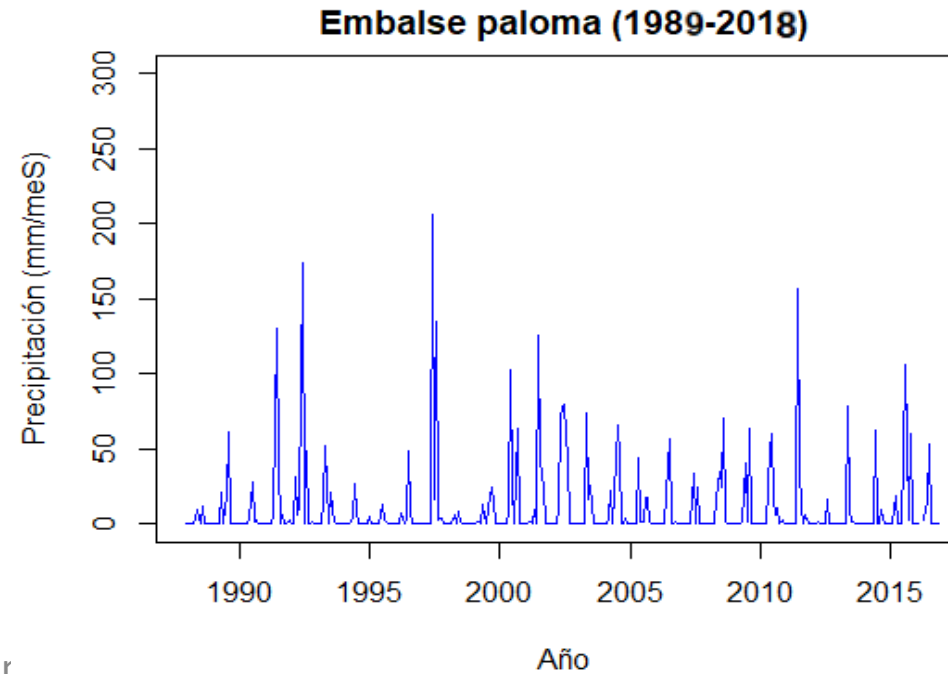
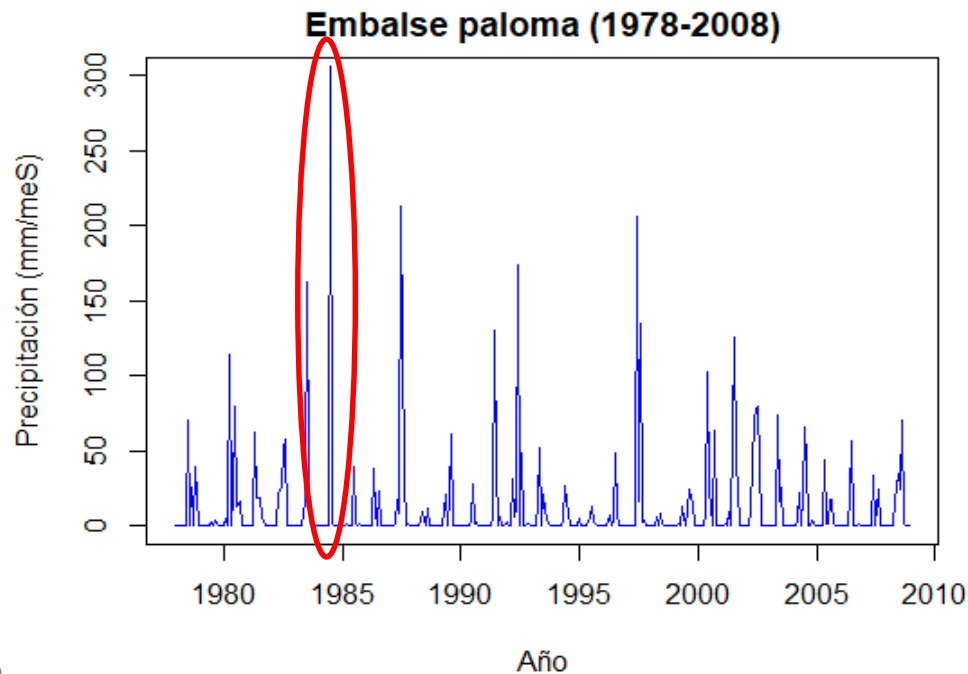


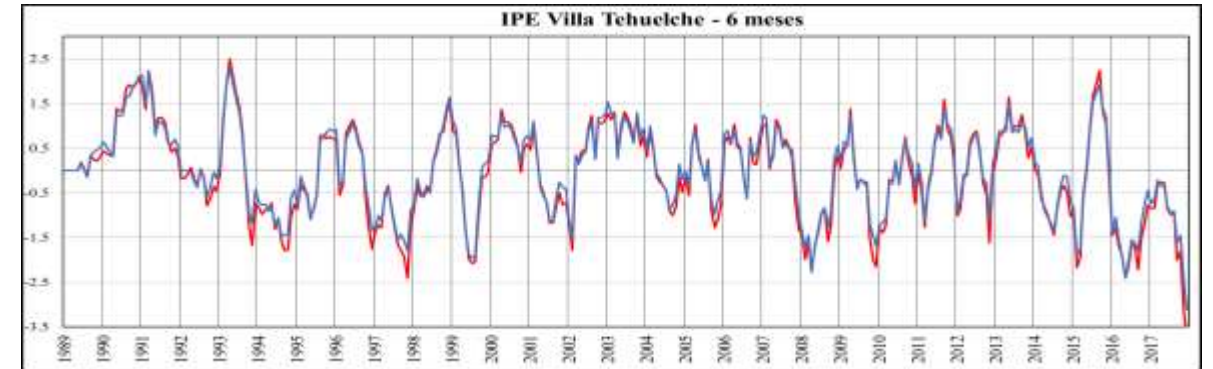
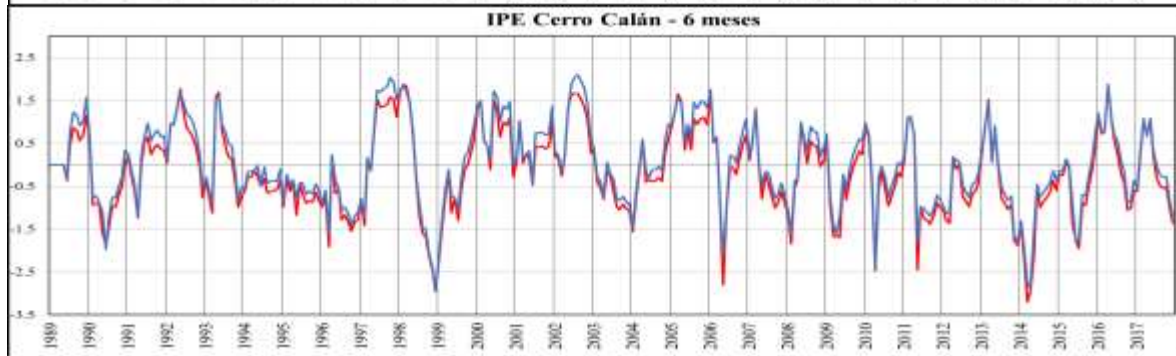
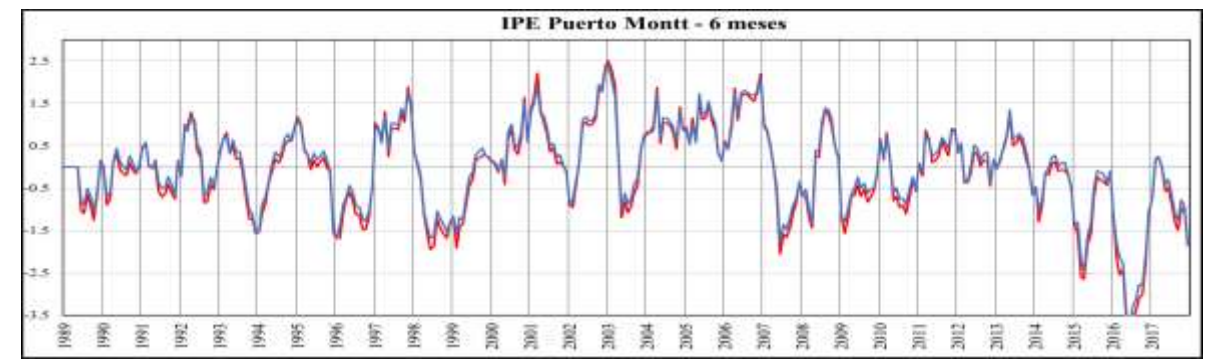
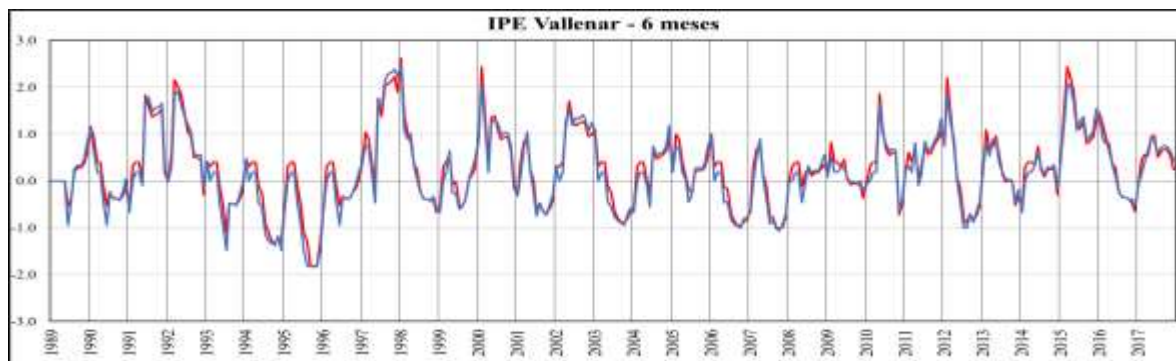
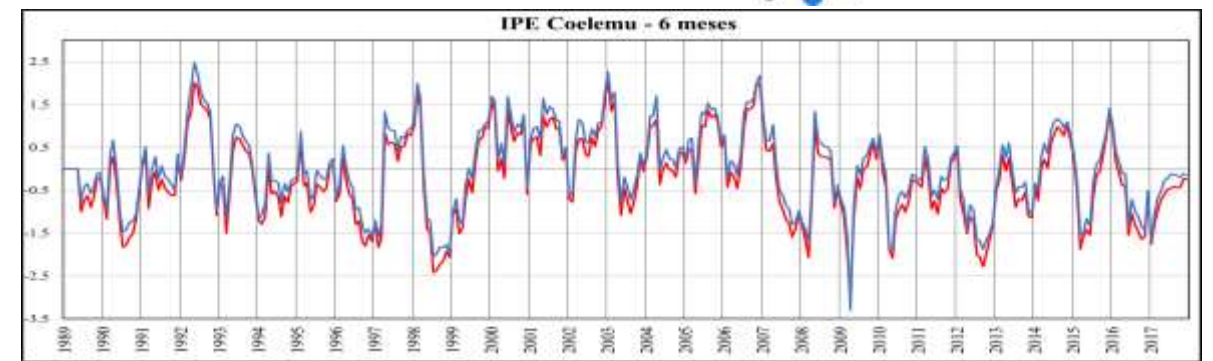
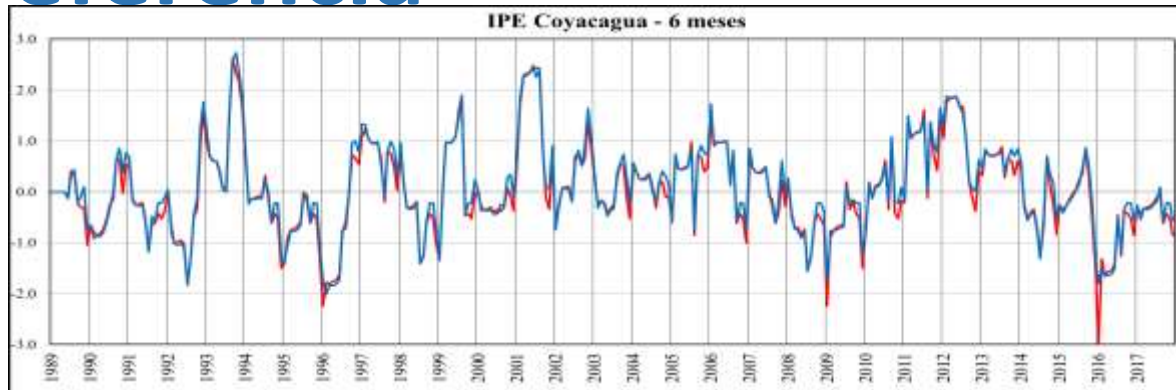
Figura 3.41: % de sequías detectadas en cada macro zona con el IPEE y el IPE. Rojo si con ambos indicadores se detecta sequía, azul si con el IPEE hay sequía y no con el IPE, y verde viceversa.

Diferencias según periodo de referencia

- El periodo de referencia a utilizar es determinante en la obtención de los coeficientes de ajuste y, por lo tanto, el valor de los índices



IPE-6, comparación periodos de referencia



28-05-2021

Figura 3.8: Serie de IPE de 6 meses para dos periodos de referencia en 6 estaciones DGA. Rojo 1979-2008, Azul 1989-2018.

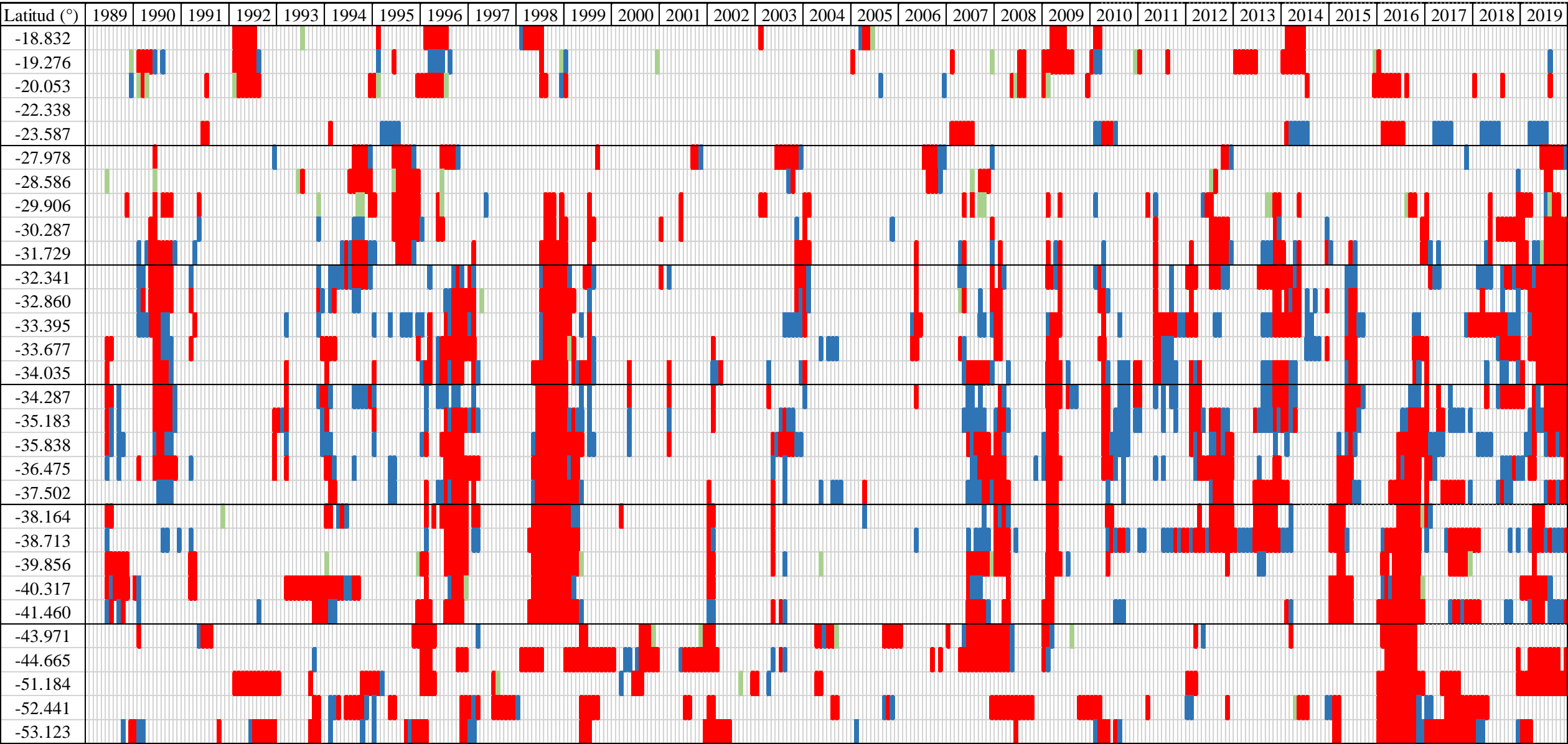


Figura 3.11: Congruencia entre los resultados generados por los periodos de referencia 1979-2008 y 1989-2019 para el IPE de 6 meses

Declaración de sequía		1989-2019	
		Si	No
1979-2008	Si		
	No		

ICE-6, comparación periodos de referencia

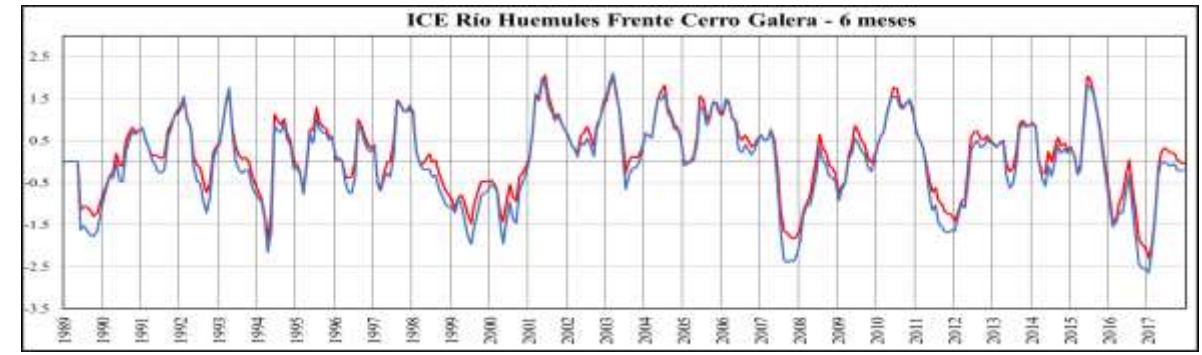
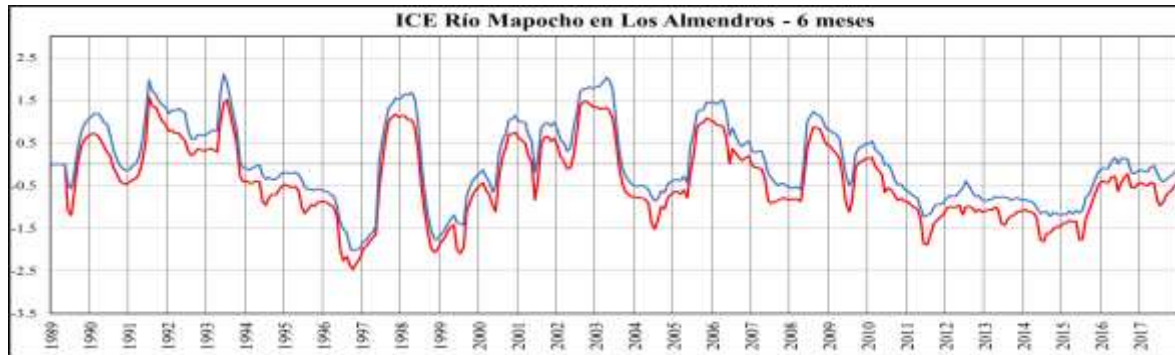
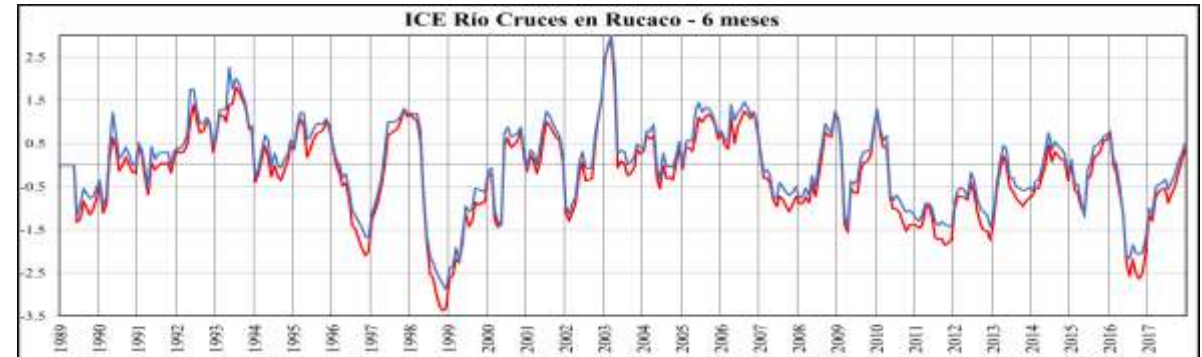
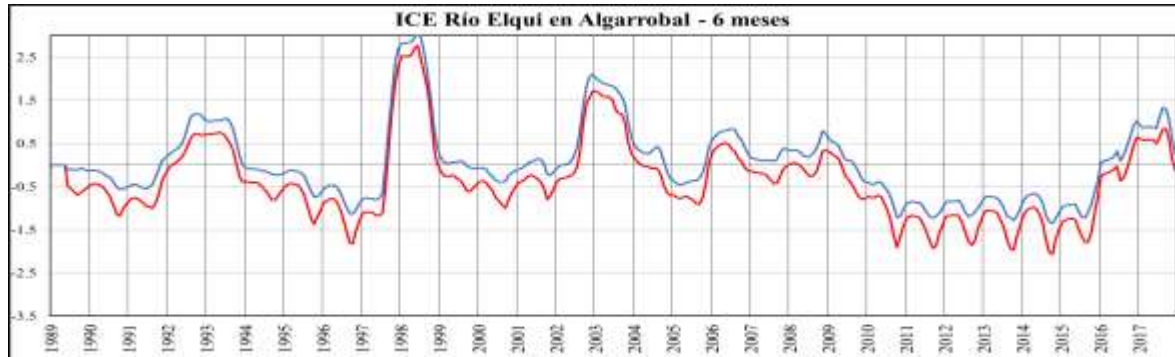
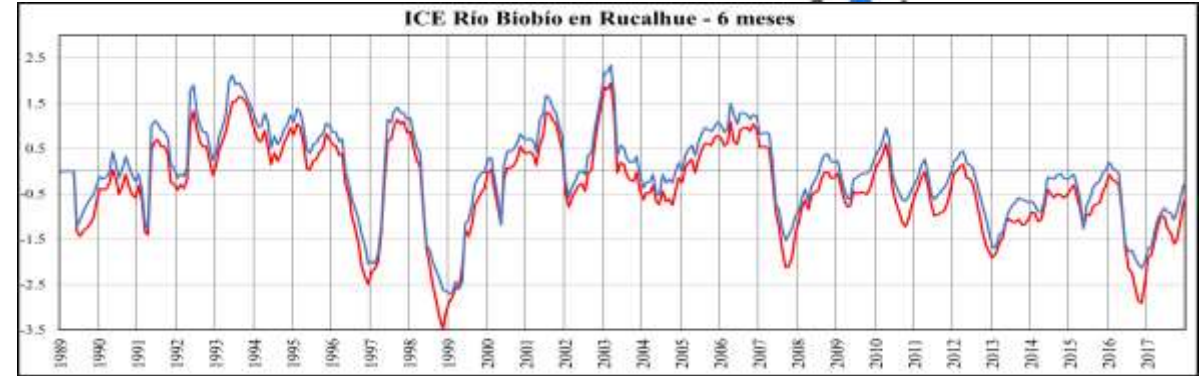
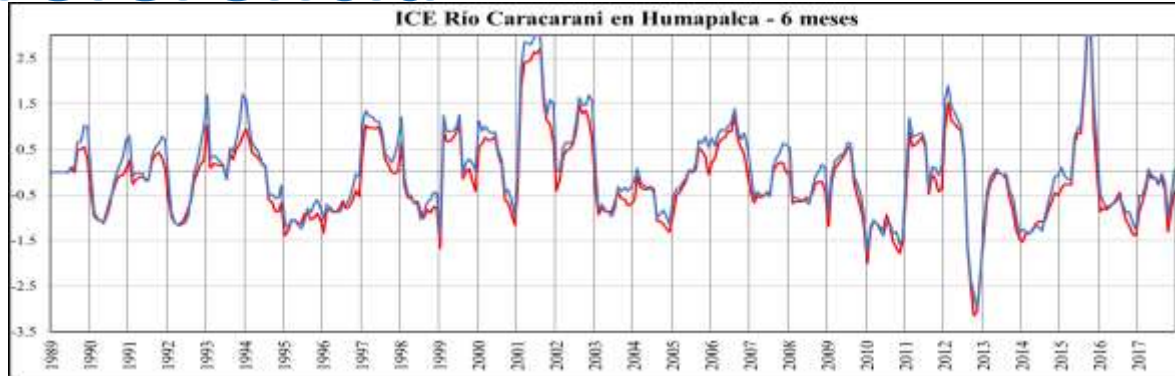


Figura 3.8: Serie de ICE de 6 meses para dos periodos de referencia en 6 estaciones DGA. Rojo 1979-2008, Azul 1989-2017.

DGA: Gestión de ciclos de sequía y escasez

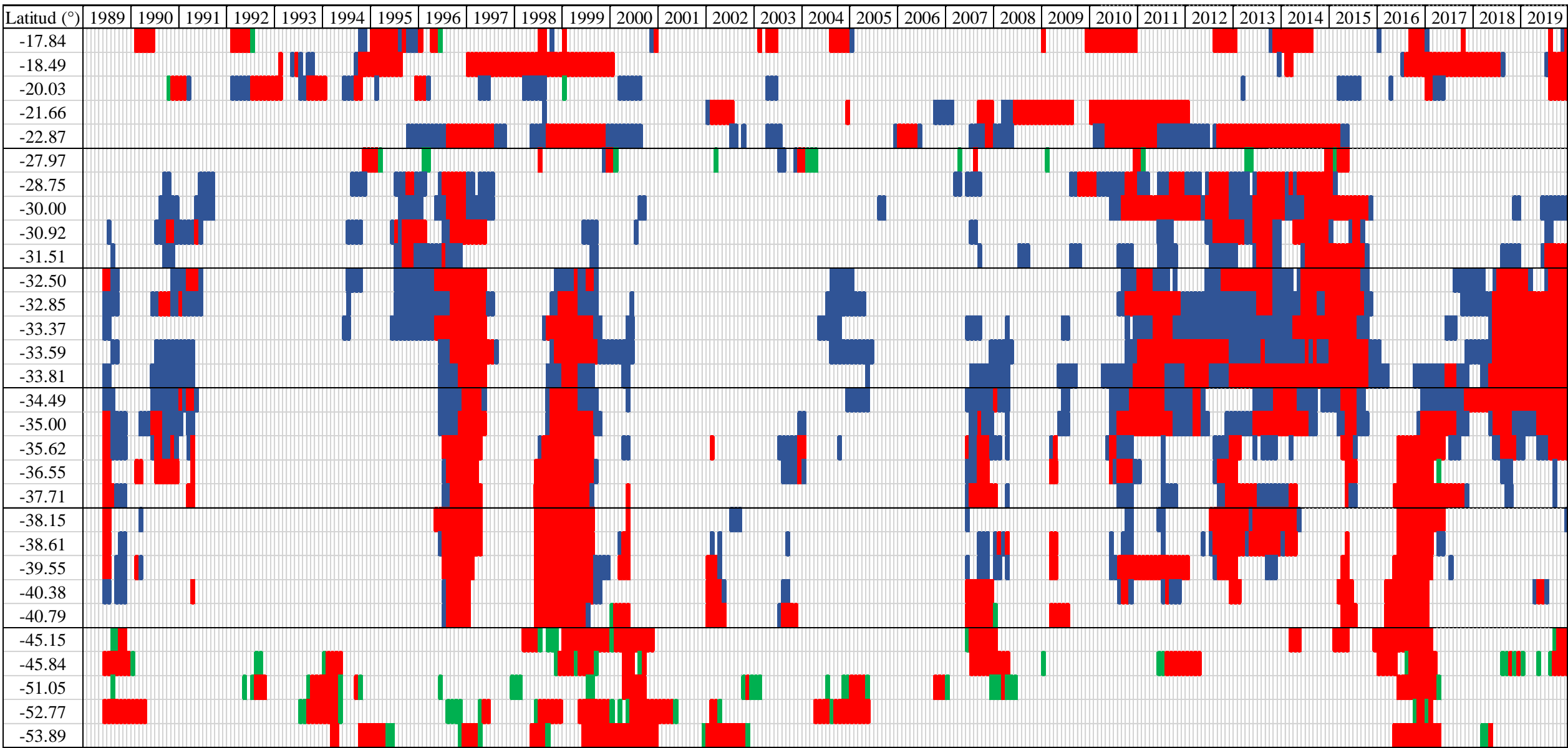


Figura 3.11: Congruencia entre los resultados generados por los periodos de referencia 1979-2008 y 1989-2019 para el ICE de 6 meses

Declaración de sequía		1989-2019	
		Si	No
1979-2008	Si		
	No		

Recomendaciones básicas para la estimación de indicadores



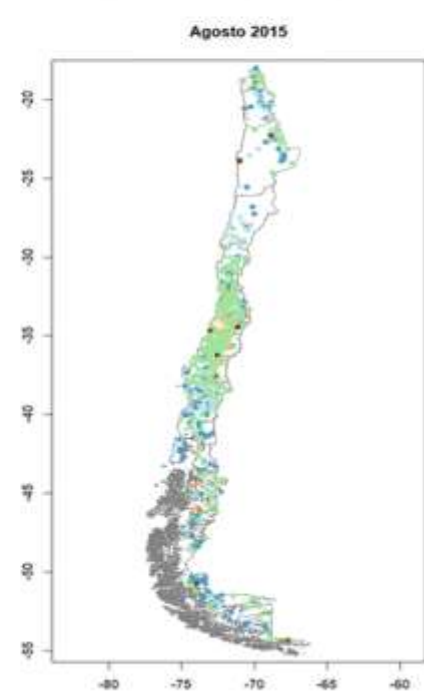
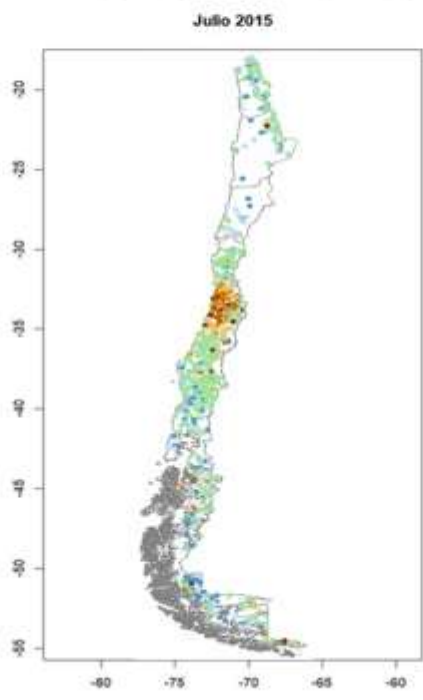
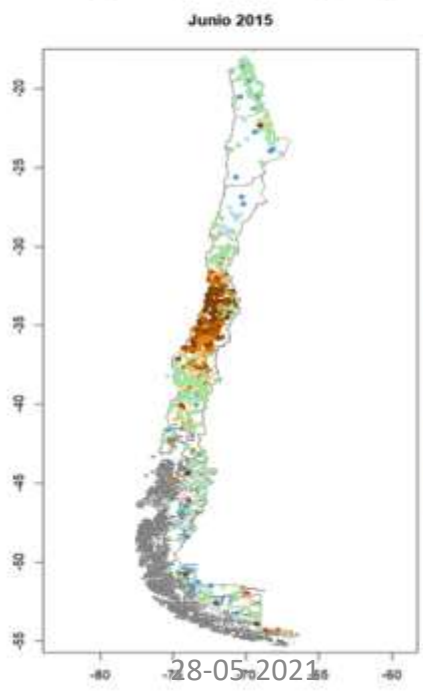
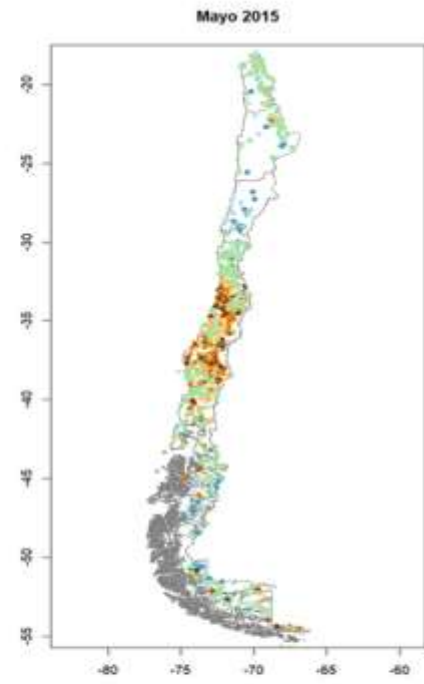
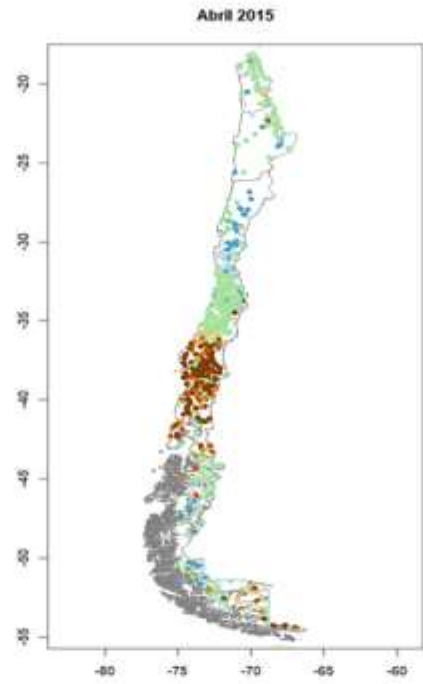
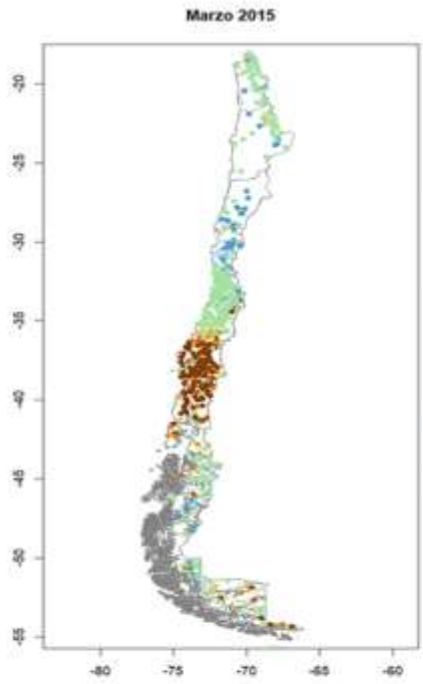
- Emplear como **periodo de referencia una serie de los últimos 30 años**, que se debe revisar y poner al día cada 10 años. El nuevo periodo de referencia será **1989 - 2018**.
- Utilizar una mayor cantidad de divisiones o valores umbrales de los **indicadores para caracterizar la sequedad**. Esto proporciona más sensibilidad en relación a las condiciones de sequía, evitándose una división única entre condición normal y seca.

Rango de valores del índice estandarizado	Grado de sequedad
mayor a 0,84	Húmedo
entre -0,84 y 0,84	Normal
entre -1,04 y -0,84	Ligeramente seco
entre -1,28 y -1,04	Moderadamente seco
entre -1,64 y -1,28	Severamente seco
entre -2,05 y -1,64	Extremadamente seco
menor a -2,05	Excepcionalmente seco

Recomendaciones básicas para la estimación de indicadores

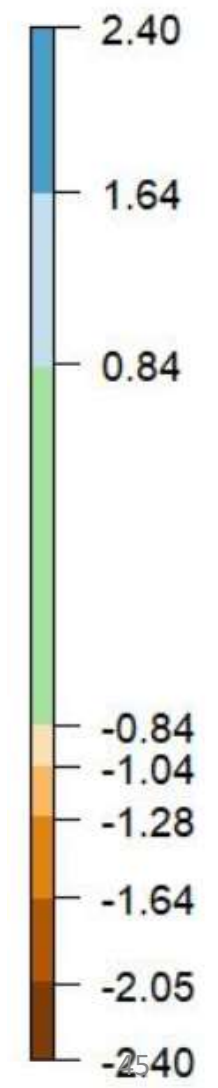


- En cuanto a los periodos de acumulación para el cálculo de los indicadores, se concluye:
 - Para **IPE e IPEE**, los indicadores de **1 y 3 meses** presentan una gran variabilidad, por lo que pueden servir solo para una **alerta temprana**, pero no para una declaración de **condiciones de sequía** establecida. Para esto parece más apropiado el periodo de **6 meses**.
 - Para **ICE** y otros indicadores hidrológicos, el periodo de **1 mes** solo se usa para una **alerta temprana**. Los de **3 y 6 meses** son mas estables y pueden usarse para una **declaración** de condiciones mas establecidas.
 - En todos los indicadores el de **12 meses** es más estable, pero llevan a una **respuesta tardía** frente a condiciones de escasez. Esta acumulación podría ser usada dar por **finalizadas las condiciones extremas**, pero no para actuar con prontitud frente a situaciones que se van presentando.



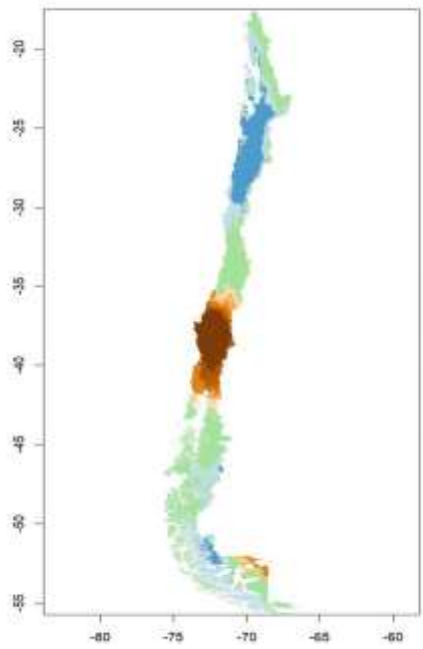
Distribución espacial de estaciones de precipitación DGA, información rellena con mediana

IPE de 6 meses
Marzo a Agosto de 2015
Estaciones DGA
Todo Chile

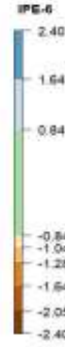
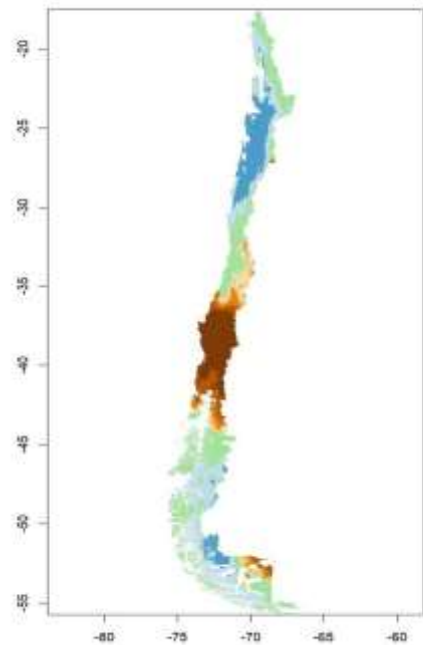


ría y escasez

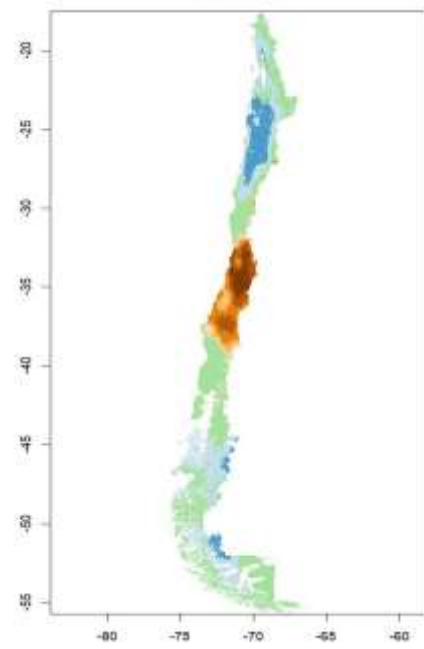
Marzo 2015



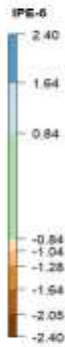
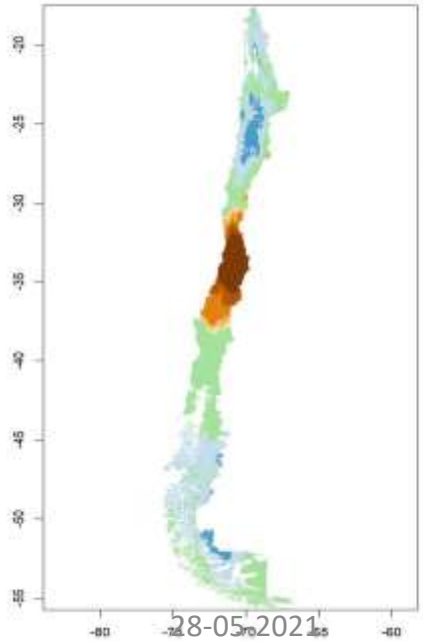
Abril 2015



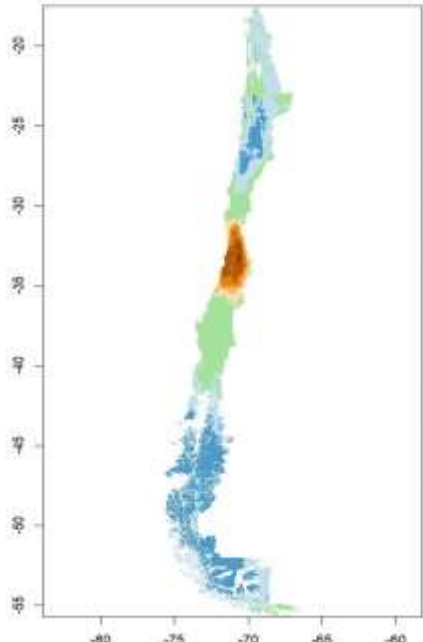
Mayo 2015



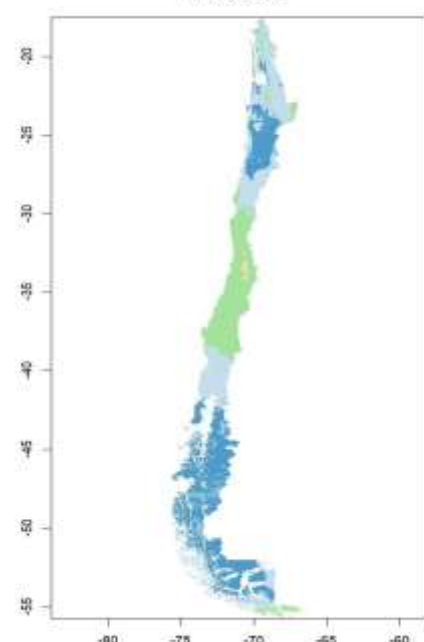
Junio 2015



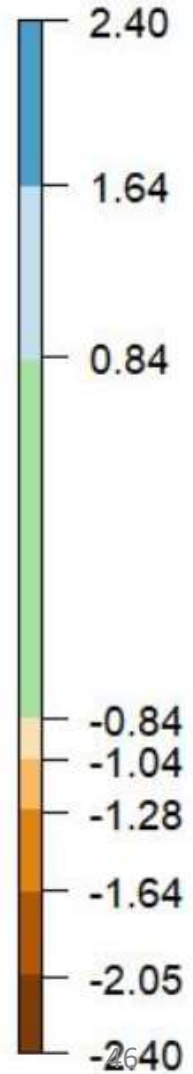
Julio 2015



Agosto 2015



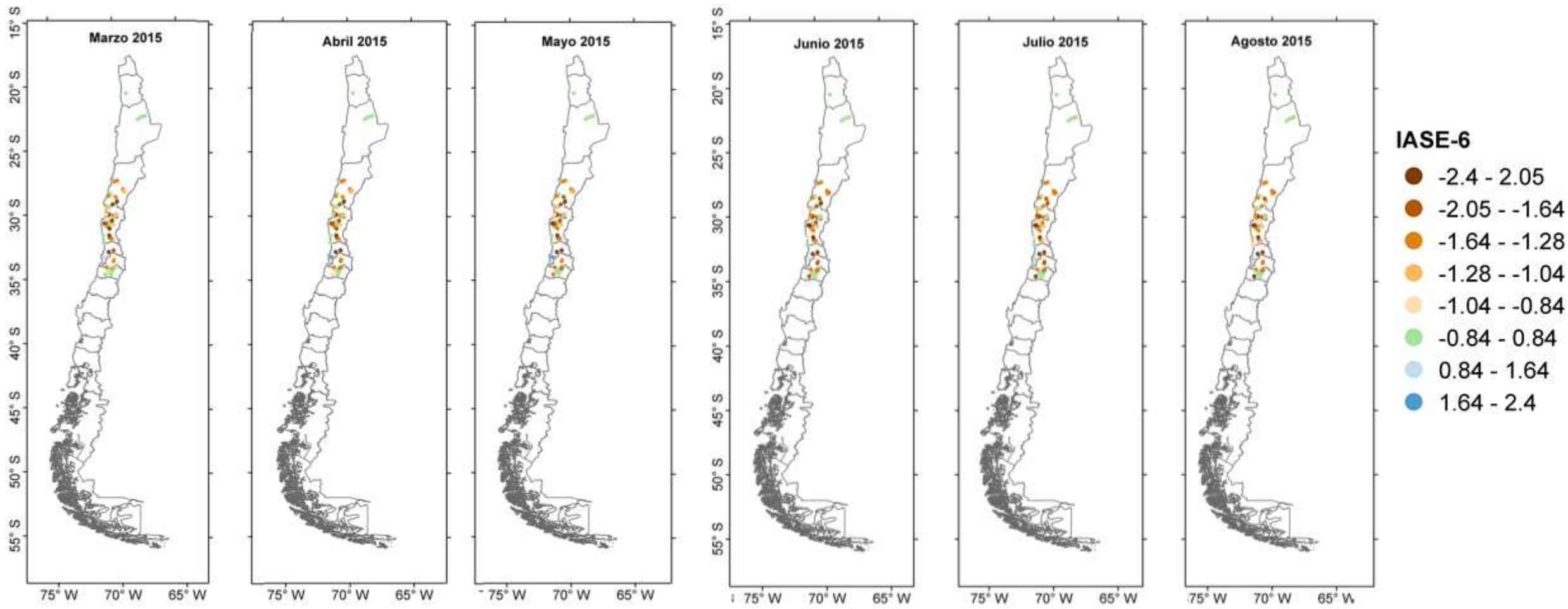
IPE de 6 meses
 Marzo a Agosto de 2015
 Producto CR2-Met
 Todo Chile



28-05-2021

ría y escasez

Distribución espacial del IASE en todo Chile



IASE de 6 meses, de marzo a agosto de 2015 en estaciones de pozo DGA (considera 100 pozos con 60% o más de datos mensuales)

Perfeccionamiento metodológico del cálculo de indicadores IPE e IPEE



0.90	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1989	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1990	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1991	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1992	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1993	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1994	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1995	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1996	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1997	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1998	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1999	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
2000	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
2001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2002	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
2003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2004	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
2005	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
2006	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
2007	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
2008	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
2009	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
2010	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
2011	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
2012	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
2013	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
2014	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2016	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2017	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2019	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	30	27	28	25	29	26	25	29	28	29	28	31

0.53	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1989	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1990	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1991	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1992	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1993	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1994	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1996	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1997	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1998	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2000	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2002	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2004	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
2006	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2007	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
2009	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
2012	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2014	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2016	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2017	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2019	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	23	21	20	16	17	15	12	12	12	14	16	19

Perfeccionamiento metodológico del cálculo de indicadores IPE e IPEE



Valores coeficientes

Una falta del 10% de los datos del registro histórico afecta, en este caso, a un 47% de los datos, por lo que la forma en que estos datos faltantes son tratados es crucial.

Se optó por un relleno a partir del producto CR2-MET, que mostró ser la mayor opción de relleno en el periodo de referencia.

Coef	Mes	Datos completos	Rellenado con CR2-Met	Rellenado con mediana	Falta 10%	CR2-Met
α	Jan	4.70	4.60	4.90	4.39	5.31
	Feb	2.01	2.03	2.21	2.17	2.77
	Mar	1.64	1.70	1.83	1.96	2.26
	Apr	2.03	2.16	2.63	2.08	3.01
	May	2.29	2.32	2.57	2.27	2.67
	Jun	3.27	3.29	3.38	3.39	3.81
	Jul	5.45	5.44	5.82	6.30	6.69
	Aug	6.24	6.30	7.12	13.50	7.96
	Sep	6.93	6.97	7.83	11.18	8.43
	Oct	6.76	6.77	7.64	10.47	8.22
	Nov	7.08	7.08	8.30	8.81	8.41
	Dec	5.92	5.88	7.50	6.71	6.83
β	Jan	11.95	12.22	11.65	81.21	10.58
	Feb	14.54	14.56	13.36	77.83	11.00
	Mar	11.51	11.26	10.55	63.96	8.69
	Apr	9.61	9.13	7.71	65.99	7.33
	May	18.43	18.26	16.76	113.31	16.51
	Jun	24.50	24.17	23.81	138.35	21.24
	Jul	20.51	20.30	19.56	94.89	16.53
	Aug	22.34	21.87	19.93	56.64	17.21
	Sep	21.59	21.27	19.46	75.17	17.58
	Oct	22.08	21.87	19.85	81.84	17.80
	Nov	17.79	17.62	15.43	80.99	14.76
	Dec	14.98	14.97	12.18	80.92	12.79

Diferencia porcentual

Coef	Mes	Datos completos	Rellenado con CR2-Met	Rellenado con mediana	Falta 10%	CR2-Met
α	Jan	0.00	2.14	4.23	6.47	12.98
	Feb	0.00	0.78	10.15	7.74	37.71
	Mar	0.00	3.64	11.47	19.10	37.78
	Apr	0.00	6.35	29.77	2.55	48.28
	May	0.00	1.08	12.23	0.82	16.48
	Jun	0.00	0.50	3.28	3.56	16.39
	Jul	0.00	0.14	6.83	15.63	22.76
	Aug	0.00	1.02	14.24	116.56	27.71
	Sep	0.00	0.46	12.87	61.27	21.56
	Oct	0.00	0.03	12.90	54.79	21.47
	Nov	0.00	0.09	17.22	24.32	18.68
	Dec	0.00	0.60	26.69	13.44	15.52
β	Jan	0.00	2.30	2.44	579.77	11.43
	Feb	0.00	0.15	8.16	435.22	24.34
	Mar	0.00	2.23	8.35	455.57	24.54
	Apr	0.00	4.99	19.77	586.80	23.71
	May	0.00	0.89	9.05	514.99	10.38
	Jun	0.00	1.35	2.81	464.69	13.31
	Jul	0.00	1.03	4.64	362.65	19.42
	Aug	0.00	2.08	10.78	153.57	22.96
	Sep	0.00	1.44	9.85	248.25	18.56
	Oct	0.00	0.99	10.10	270.59	19.42
	Nov	0.00	0.95	13.23	355.32	17.01
	Dec	0.00	0.03	18.65	440.27	14.63

Enfoque final adoptado en el cálculo de índices



- Se consideraron todas las estaciones DGA disponibles para la generación de la base de datos final.
- El periodo de referencia para el cálculo de coeficientes es el 1989-2018.
- Se utilizó la información de CR2-MET para el relleno de datos en las estaciones de precipitación, y la mediana para las estaciones de caudal.
- Se calcularon los coeficientes de ajustes para distintos periodos de acumulación.

Hacia un observatorio de sequías

Procedimientos en la operación de un observatorio



Tabla 7-1: Organización de los procedimientos, antecedentes y resultados para mostrar condiciones de sequías en un observatorio

	Procedimiento	Antecedentes/datos	Resultados
A	Selección de estaciones a considerar y sus series de datos mensuales.	Datos de series hidrometeorológicas al día, según BNA y otros.	Datos de P, T, Q del mes último. Completar la serie en una base de datos.
B	Cálculo de los indicadores IPE; IPEE; ICE e IASE para las diferentes acumulaciones.	Antecedentes sobre estadígrafos de los indicadores para las estaciones.	Valores de los indicadores en las estaciones seleccionadas para el último mes.
C	Asociar los indicadores de las estaciones a las comunas.	Criterio o procedimiento para asociar estaciones con comunas.	Valores de los indicadores en las comunas. Mapa del país con calificación detallada de los indicadores IPE, IPEE, ICE, IASE.
D	Calificación de sequías en las comunas.	Resolución para calificar sequías.	Listado de las comunas con su calificación de condiciones de sequía. Mapa del país con las comunas y su condición de sequía.

Procedimientos en la operación de un observatorio



- Distintas opciones para cada uno de estos procesos relacionados con la cantidad de estaciones a considerar, la asignación de los indicadores calculados a las comunas, y los índices considerados.
 - Alternativas:
 - Uso de estaciones básicas DGA y asignación a las comunas del país
 - Uso de estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial.
 - Uso de todas las estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial.
 - Uso de todas las estaciones básicas DGA y DMC y agregación territorial de interpolación espacial.
- (*) En cada una de estas opciones se puede considerar diferentes índices.
(**) La interpolación espacial corresponde a un Kriging ordinario

Estaciones básicas DGA



Región		Número de estaciones básicas DGA	
Número	Nombre	Meteorológicas	Fluviométricas
XV	Arica y Parinacota	0	2
I	Tarapacá	0	2
II	Antofagasta	0	2
III	Atacama	7	2
IV	Coquimbo	10	4
V	Valparaíso	22	7
XIII	Metropolitana	6	4
VI	O'Higgins	16	2
VII	Maule	12	7
XVI	Ñuble	5	5
VIII	Biobío	3	4
IX	Araucanía	4	4
XIV	Los Ríos	3	2
X	Los Lagos	9	7
XI	Aysén	5	0
XII	Magallanes y Antártica chilena	8	0
Total		119	54

Uso de estaciones básicas DGA y asignación a las comunas del país

Asignación comunal a partir de estaciones base, siguiendo Resolución actual



Figura 7.1: Comportamiento de IPE según resolución actual, en las comunas del país, en junio de 2015.

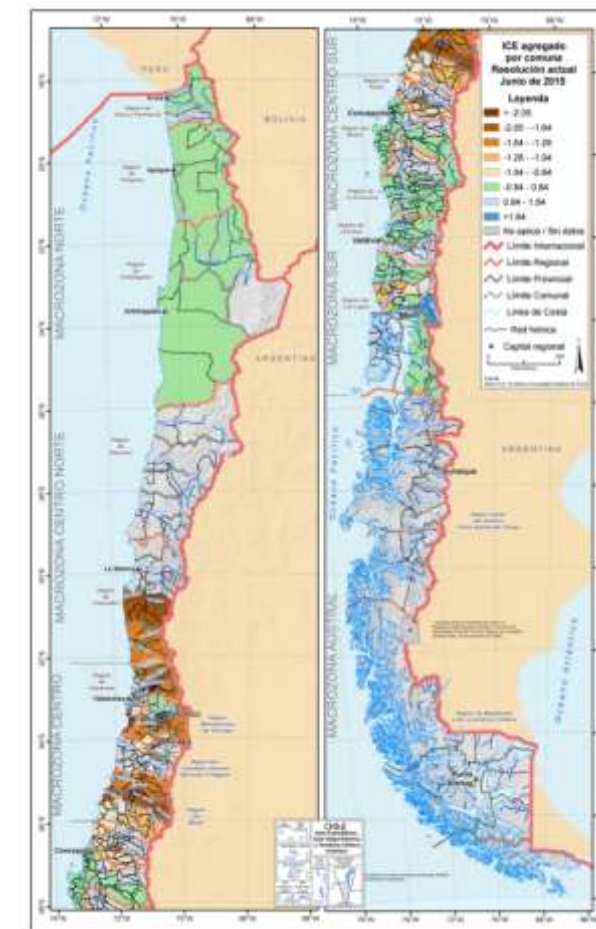
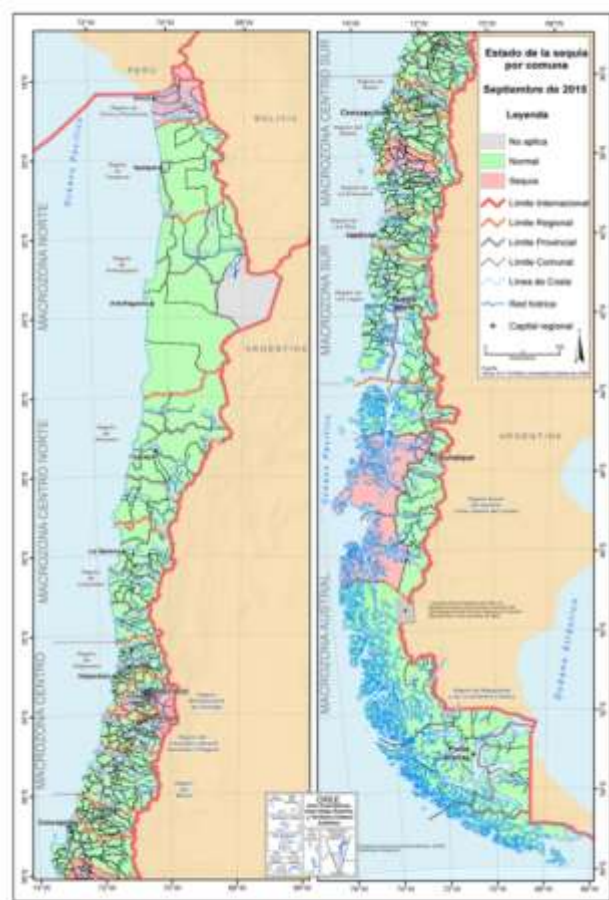


Figura 7.2: Comportamiento del ICE según resolución actual, en las comunas del país, en junio de 2015.



Las básicas DGA y asignación a las

nal a partir de
siguiendo Resolución



Figura 7.5: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de junio de 2015.

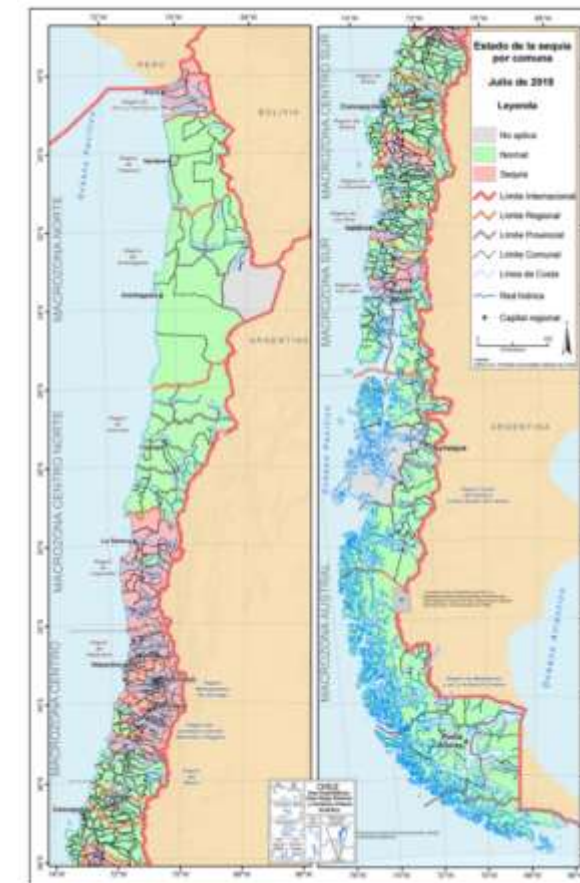


Figura 7.6: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de julio de 2015.

Uso de estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial

Asignación comunal a partir de agregación de valores luego de interpolación con Kriging, resolución propuesta

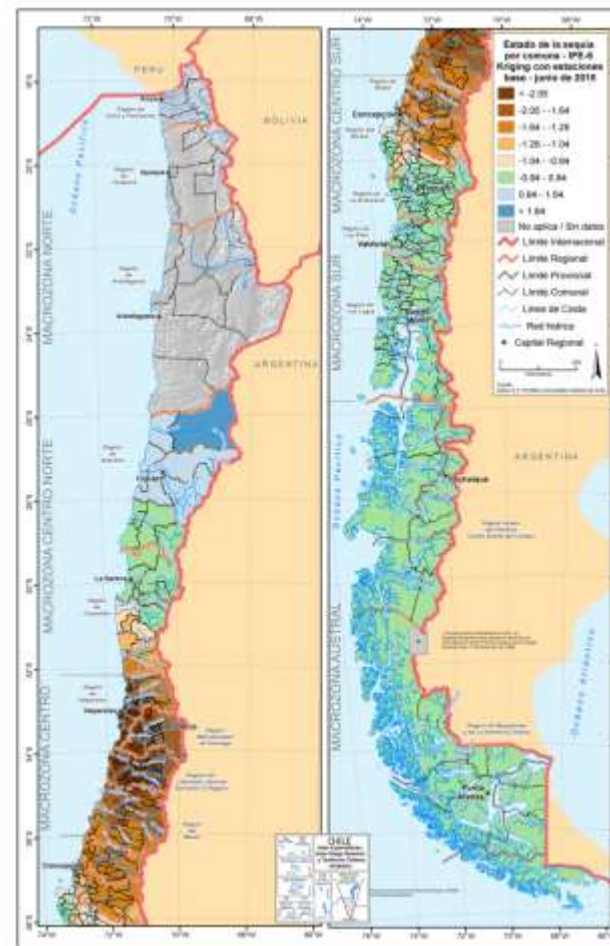


Figura 7.17: Valores de IPE-6 por comunas interpolados con kriging con las estaciones base en junio de 2015

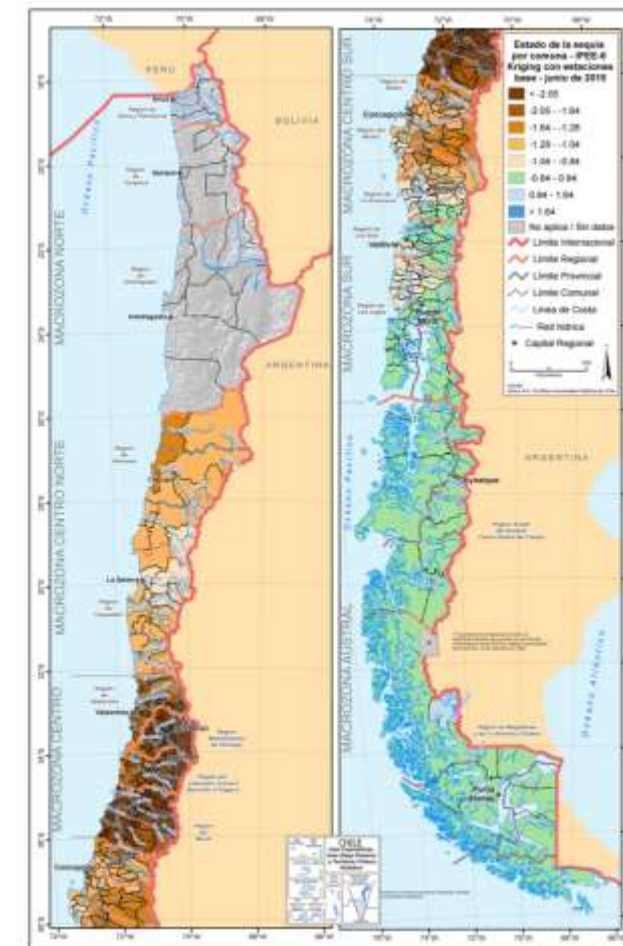


Figura 7.18: Valores de IPEE-6 por comunas interpolados con kriging con las estaciones base en junio de 2015.

Uso de estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial

Asignación comunal a partir de agregación de valores luego de interpolación con Kriging, resolución propuesta

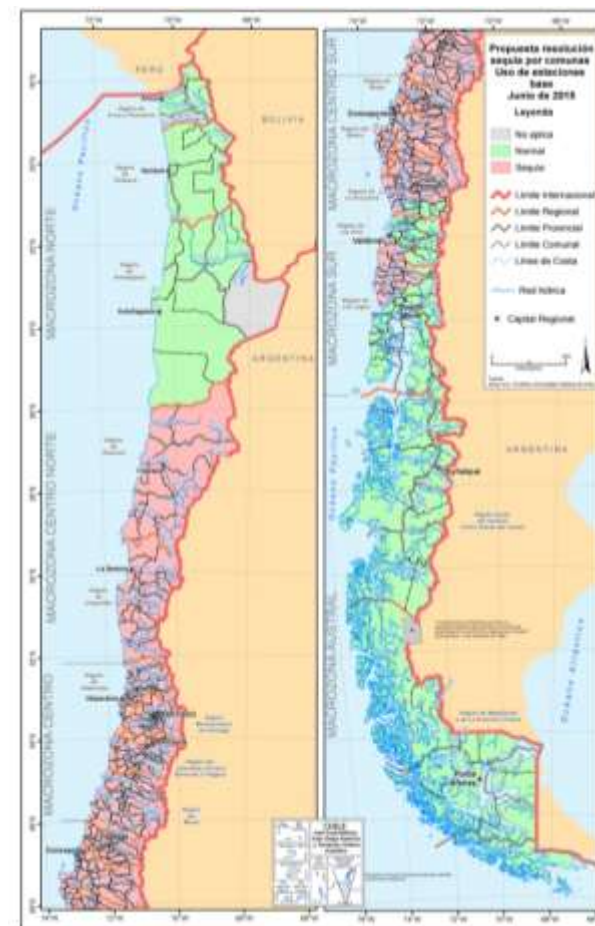


Figura 7.21: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de junio de 2015.

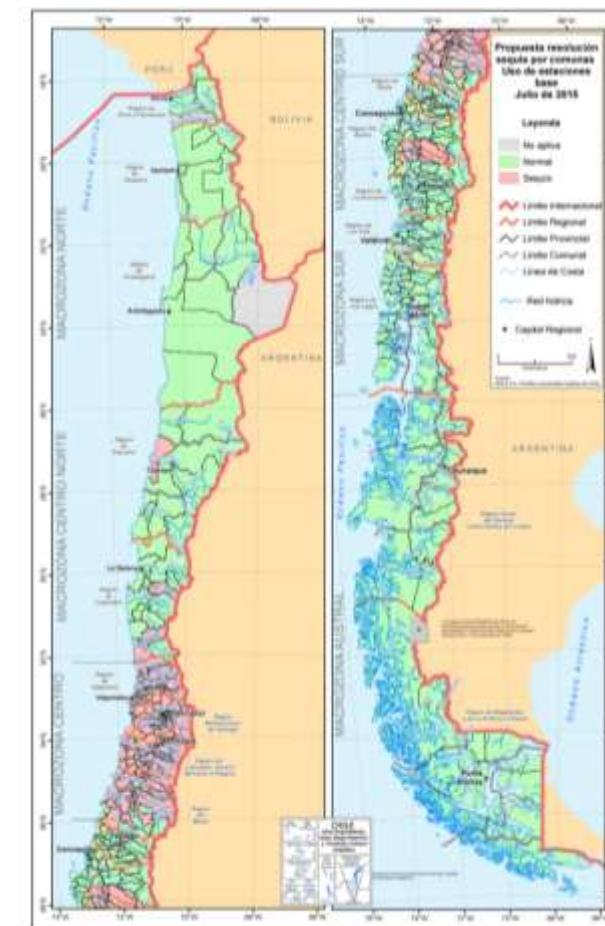


Figura 7.22: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de julio de 2015.

Uso de todas las estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial

Asignación comunal a partir de agregación de valores de interpolación con Kriging, resolución propuesta

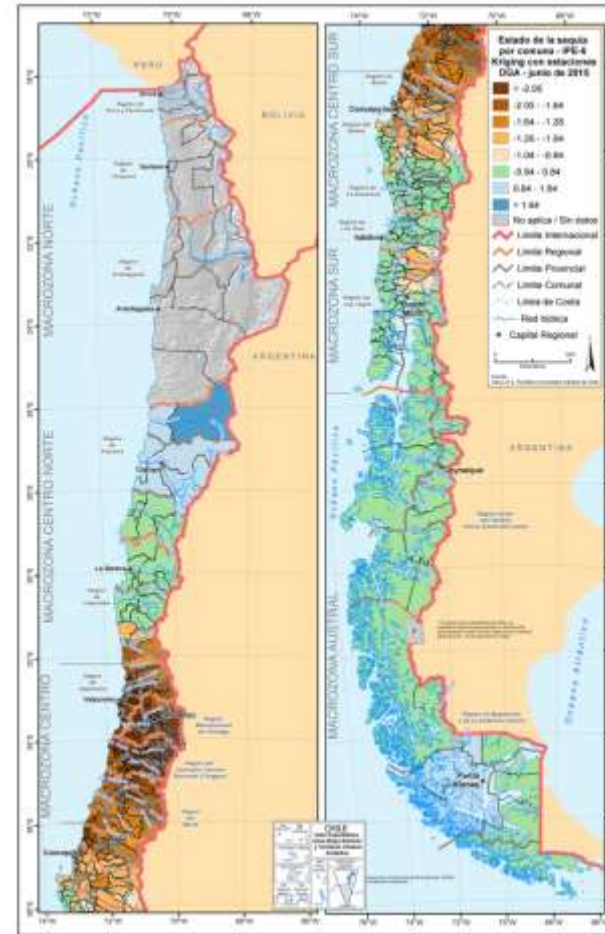


Figura 7.25: Valores de IPE-6 por comunas interpolados con kriging con las estaciones DGA disponibles en junio de 2015.

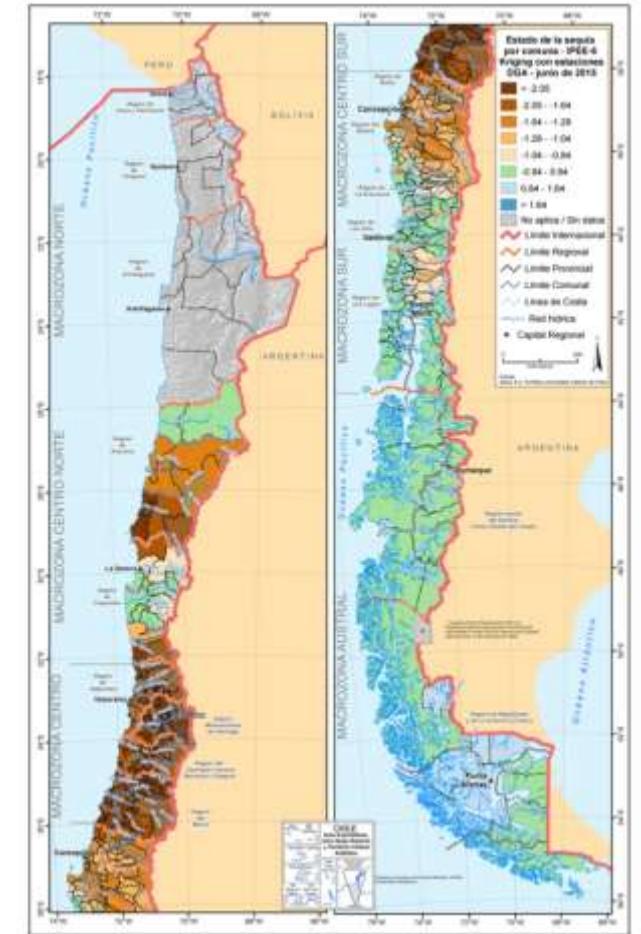


Figura 7.26: Valores de IPEE-6 por comunas interpolados con kriging con las estaciones DGA disponibles en junio de 2015.

Uso de todas las estaciones básicas DGA y agregación territorial de interpolación espacial

Asignación comunal a partir de agregación de valores de interpolación con Kriging, resolución propuesta

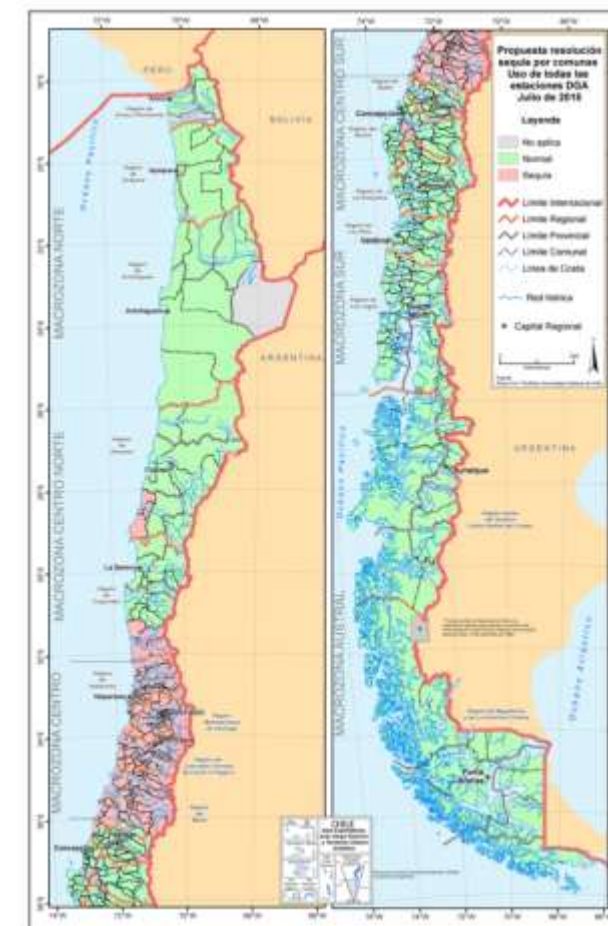


Figura 7.27: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de junio de 2015. Interpolación con todas las estaciones DGA

Figura 7.28: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país en el mes de julio de 2015. Interpolación con todas las estaciones DGA

Comparación en situación de sequías extraordinarias: Comunas del país en junio de 2015

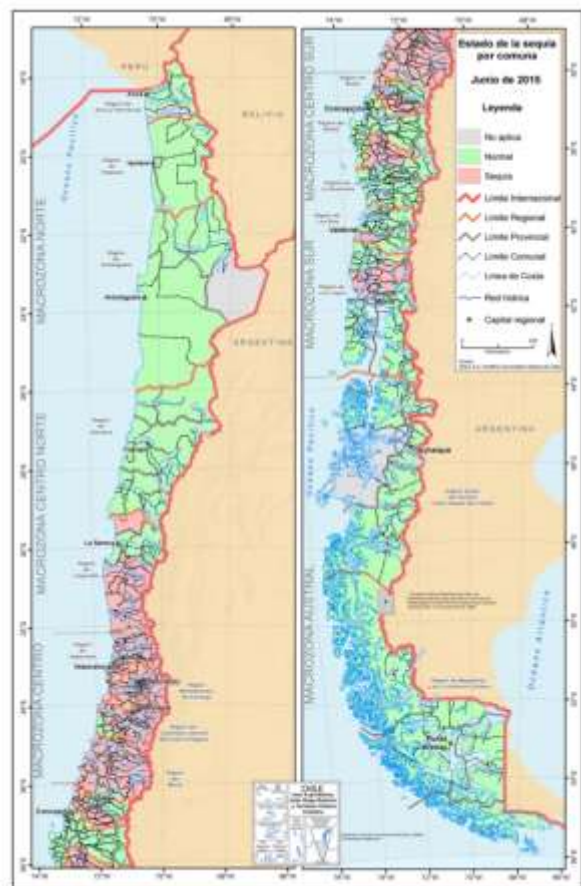


Figura 7.5: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país, junio de 2015. **Sistema actual DGA con Resolución 2012.**

28-05-2021



Figura 7.13: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país, junio de 2015. **Sistema actual DGA con Resolución 2012 modificada.**



Figura 7.21: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país junio de 2015. **Interpolación con estaciones básicas y Resolución 2012 modificada.**

DGA: Gestión de ciclos de sequía y escasez

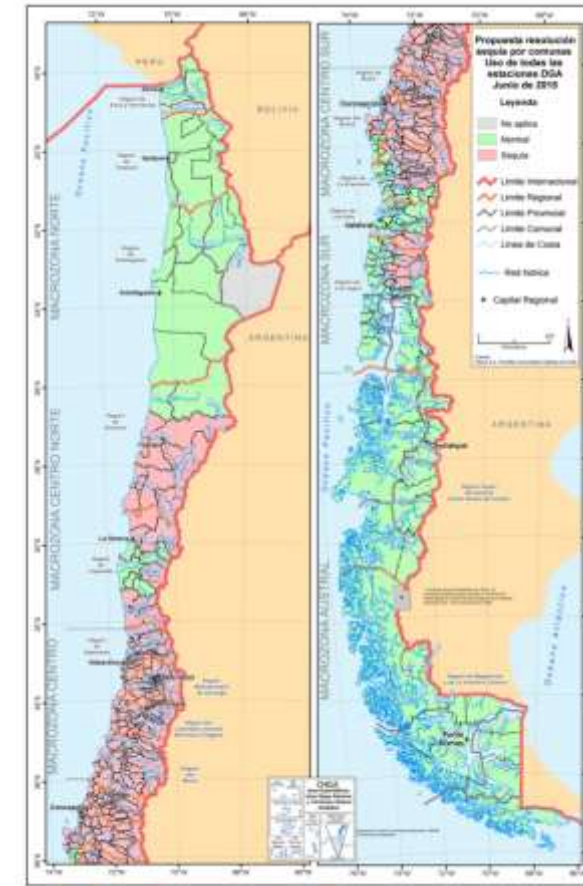


Figura 7.27: Situación de sequías extraordinarias en las comunas del país, junio de 2015. **Interpolación con todas las estaciones DGA y con Resolución 2012 modificada.**

61

Estaciones de niveles de pozos

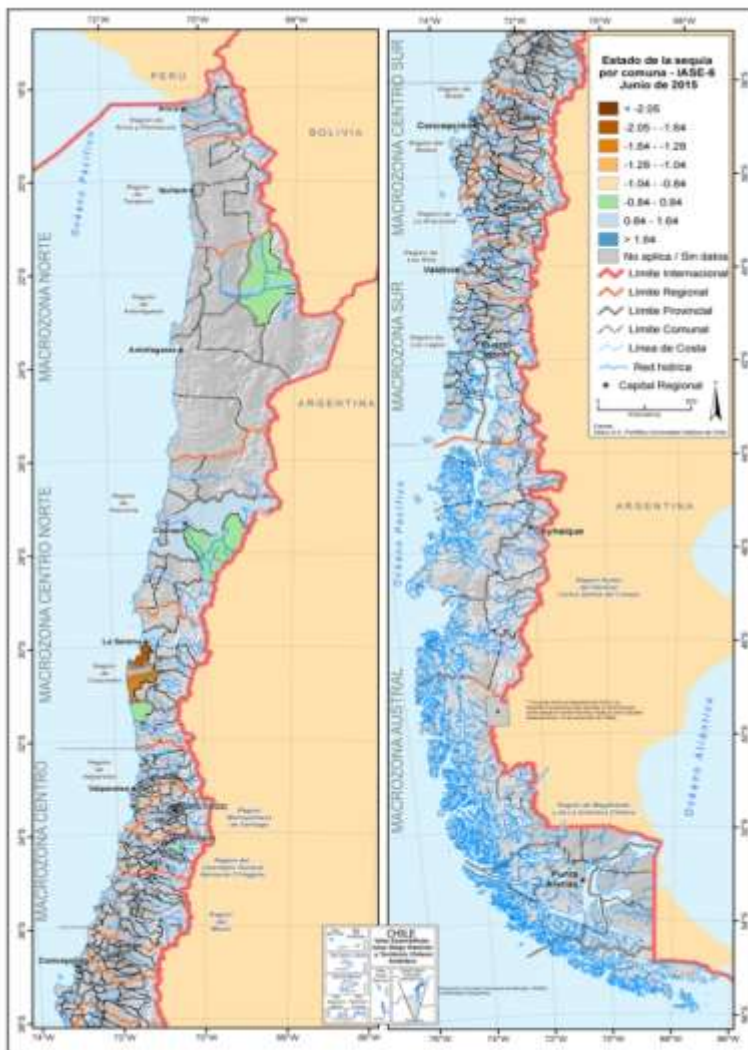


Figura 7.20: Valores de IASE-6 por comunas con las estaciones base en junio de 2015.

Asignación por localización de las estaciones de niveles de pozos

Baja cantidad de estaciones con la información suficiente



Desarrollo de herramientas para la calificación de sequías y visualización en observatorio

Propuesta de medidas normativas y nueva resolución

Principales conclusiones



1. Trabajo consideró una revisión exhaustiva de múltiples antecedentes relacionados con el monitoreo y caracterización de sequías.
2. Luego de ~10 años, ha habido cambios y avances en índices, herramientas, condiciones climáticas, monitoreo. Se hace necesaria una actualización masiva.
3. Se identifican 4 indicadores estandarizados para el monitoreo de sequías: IPE, ICE, IPEE e IASE, y se propone un periodo de agregación de 6 meses común para todos.
4. Si bien hay una definición legal de sequía extraordinaria, se identifico distintos grados o niveles de sequedad que pueden ser considerados en futuras acciones normativas.
5. Se propuso una nueva resolución y otras acciones normativas, modificando los indicadores a utilizar e incluyendo nuevos indicadores.

Principales conclusiones



5. Se desarrolla un aplicativo para la calificación de sequías:
 - Es automático
 - Se actualiza mensualmente
 - Permite consultar condiciones actuales e históricas
 - Utiliza bases de datos de estaciones con conexión satelital y otras
 - Produce la información para la calificación, así como los archivos para visualización en observatorio DGA
6. Se proponen distintas alternativas de bases para un observatorio de sequías
7. Se genera una cantidad importante de bases de datos y otros de utilidad para transferencia hacia DGA

Trabajo y recomendaciones a futuro



1. Se propone avanzar en los distintos niveles de sofisticación identificados para un observatorio de sequías. Eventualmente se debe evaluar integrar nuevas estaciones básicas y no básicas externas.
2. Se debe generar la experiencia con el uso de las herramientas generadas para ir identificando mejoras o cambios futuros.
3. Se debe comunicar muy bien al público general el concepto de sequía y su caracterización, el que suele confundirse con escasez.
4. Se debe cambiar el periodo de referencia cada 10 años.

