



dictuc
LABORATORIO DE HIDRÁULICA



Centro UC
Cambio Global



Centro UC
Derecho y Gestión
de Aguas

Antecedentes y herramientas recientes para el monitoreo y gestión de sequías en Chile: hacia la actualización de nuestros instrumentos técnicos y normativos

6 de agosto de 2021

XXIII Jornadas de Derecho y Gestión de Aguas

Jorge Gironás, Depto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, PUC.

Motivación

- La sequía ha sido y es parte de la realidad nacional, y requiere medidas preventivas, adaptativas, y con enfoque a corto, mediano y largo plazo.
- La Resolución DGA N°1674 define criterios para la calificación de las épocas de extraordinaria sequía .
- A 04/2021, 104 de 346 comunas habían sido declaradas como zonas de escasez.
- En 2015, la Organización Meteorológica Mundial recomendó actualizar las normales climáticas al período de 30 años más reciente al comienzo de una nueva década (1991-2020 es el periodo actual).
- Ha habido manifestaciones evidentes de cambio en clima entre 1961 y 2020: (1) aumento de T_{media} nacional de 0,13 °C/dec, (2) caída de P_{anual} nacional de -27 mm/dec.
- El cambio significativo observado y esperado de T afecta la ET y el balance hídrico, por lo que esta variable debiese considerarse en cálculo de índices para identificación y calificación de sequías.
- Se ha observado reducciones significativas en niveles de acuíferos.
- Nueva disponibilidad de datos, modelos y metodologías.
- Estudio DGA 2020-2021: “Estudio de perfeccionamiento de las capacidades de la DGA en gestión de ciclos de sequía y escasez”

Objetivo General

Perfeccionar las capacidades en la gestión de ciclos de sequía y escasez. Esto sirve de insumo al trabajo de la DGA en la materia

Objetivos específicos relevantes:

- 1) Avanzar en el conocimiento de las condiciones hidrológicas y mecanismos climáticos que determinan condiciones de sequía y escasez.
- 2) Proponer una actualización de los criterios técnico-administrativos de la resolución DGA N° 1674 conducentes a una nueva resolución en esta materia.
- 3) Mejorar las capacidades de monitoreo y calificación de períodos de sequía extraordinaria, basado en la actualización periódica de información y procesos automatizados de cálculo, análisis y visualización.

Antecedentes: Monitoreo nacional e internacional

Análisis de sistemas 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 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 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, 3, 6, 9, 12, 24, 36 y 48				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				

Antecedentes: información hidrometeorológica y productos grillados

Propiedades de bases de datos y sistemas de información

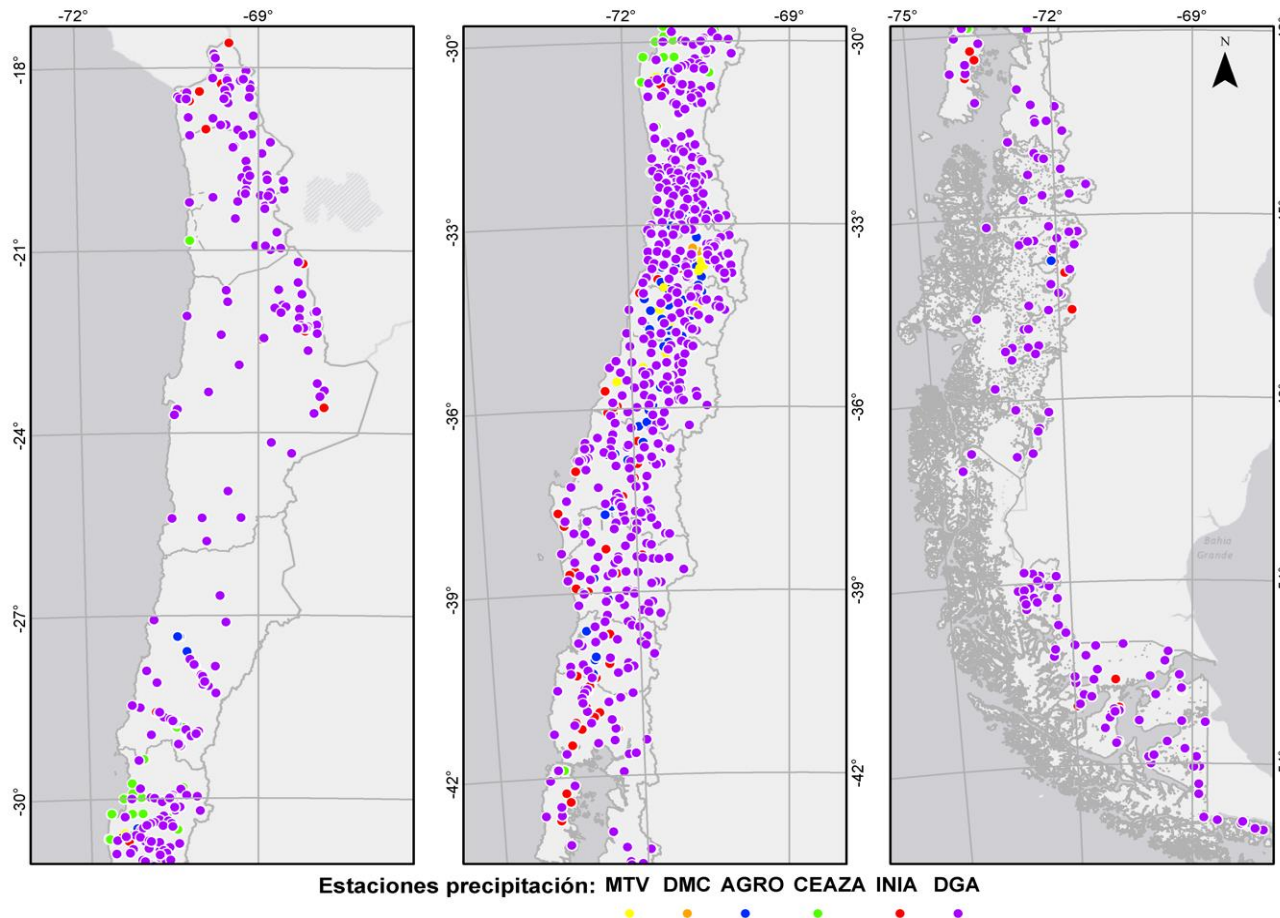
- Se recopila información de estaciones DGA, DMC, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), de la Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), del Consorcio de Vinos de Chile (MTV) y del Sistema de Información de Calidad de Aire (SINCA)

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

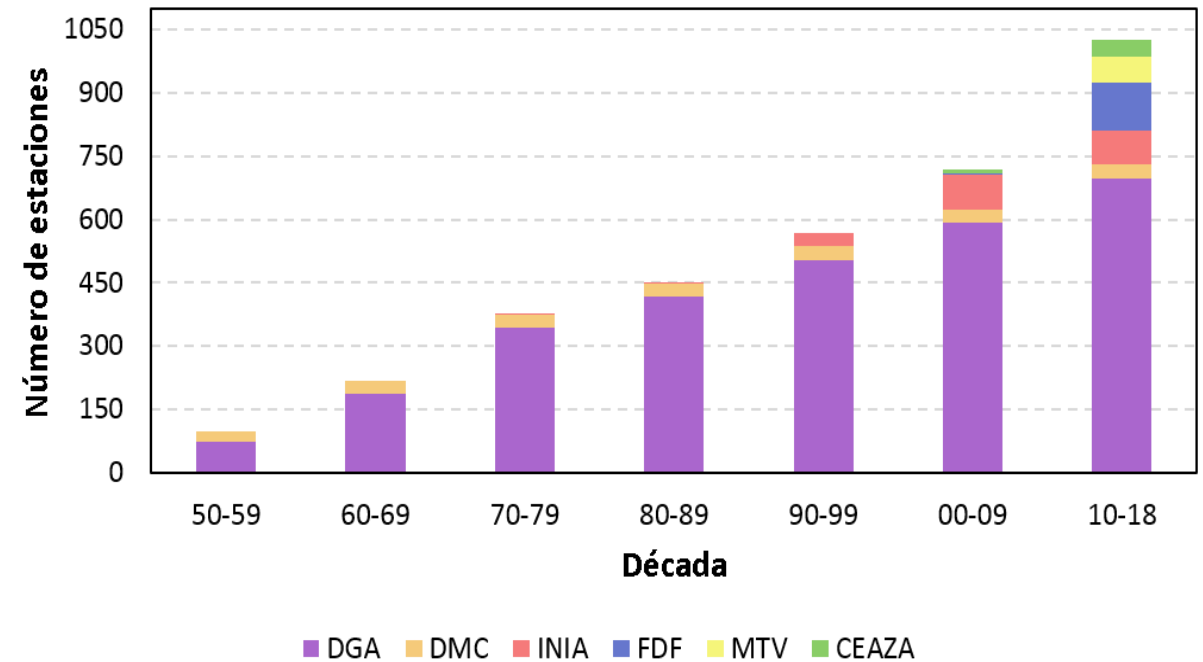
Fuente	Precipitación	Temperatura	Caudal	Niveles de pozos	Niveles de lagos y embalses	Rutas de nieve
DGA	840	340	809	1094	72	16
DMC	571	302	0	0	0	0
FDF	112	135	0	0	0	0
INIA	106	105	0	0	0	0
MTV	61	38	0	0	0	0
CEAZA	52	73	0	0	0	0
SINCA	30	82	0	0	0	0
Total	1772	1075	809	1094	72	16

Redes hidrometeorológicas, fuente estación

Aumento sostenido en la cantidad de estaciones meteorológicas.



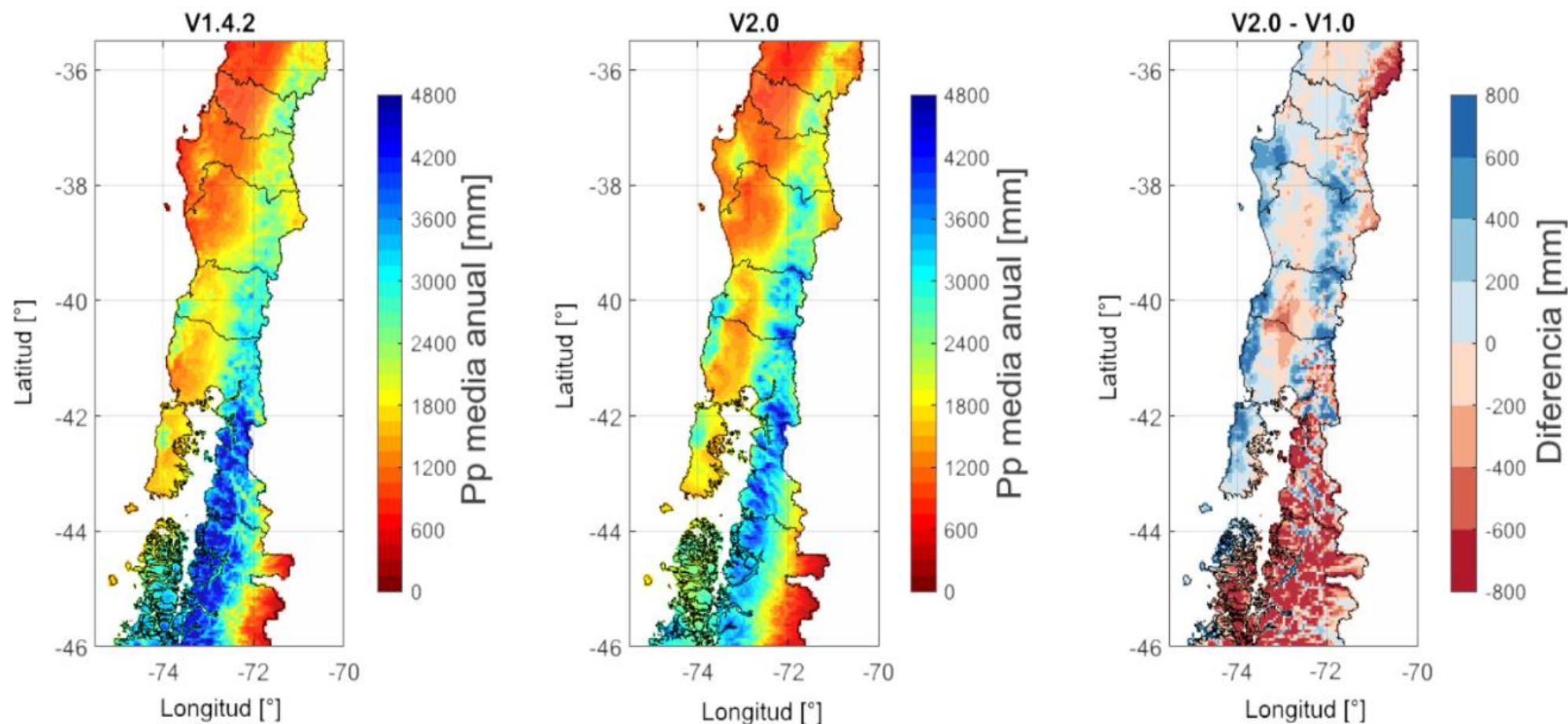
Cantidad de estaciones de precipitación disponibles por décadas.



Distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas operativas del periodo 2010 - 2018

Producto Grillado CR2MET

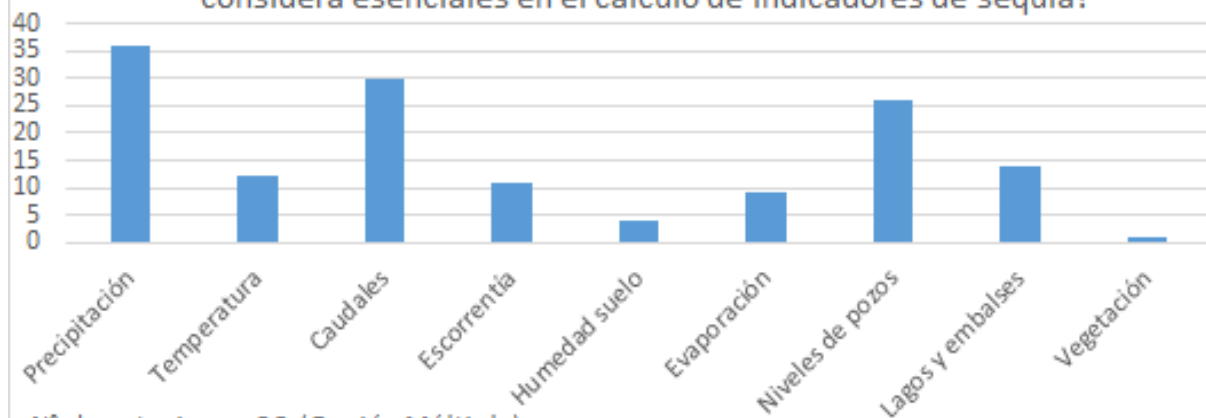
CR2MET contiene información de las forzantes meteorológicas (i.e. P , T_{min} , T_{med} , T_{max} , humedad relativa y velocidad del viento) en un grilla de resolución $0,05^\circ$ latitud-longitud para Chile continental, periodo 1979-2018. Ha sido utilizado en el estudio del clima e hidrología regional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



**Antecedentes: opinión de
usuarios, expertos y comunidad
en general**

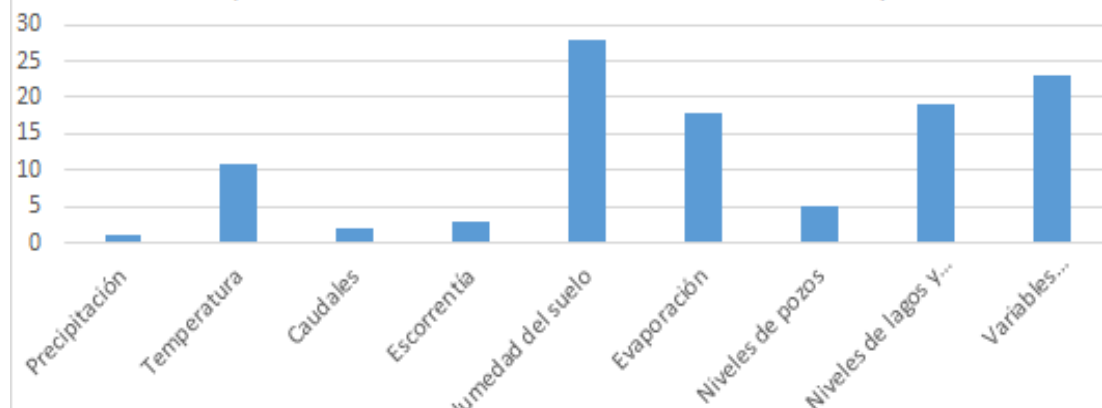
Focus Group: Principales resultados

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



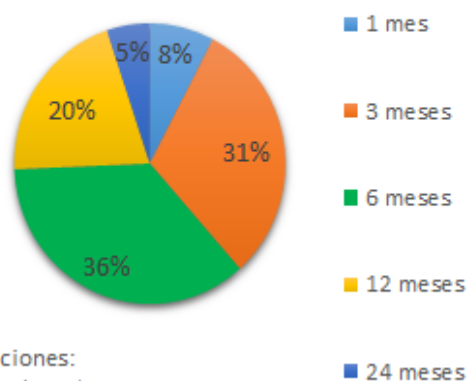
Nº de votaciones: 36 (Opción Múltiple)

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



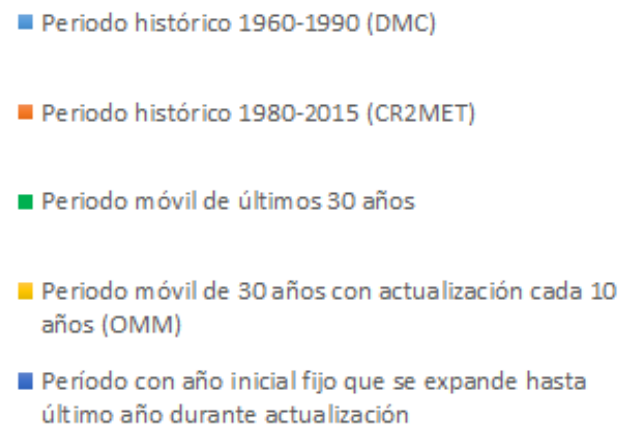
Nº de votaciones: 38 (Opción Múltiple)

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



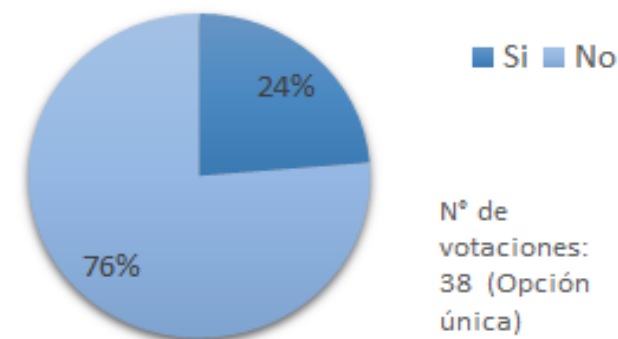
Nº de votaciones: 39 (Opción única)

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



Nº de votaciones: 37 (Opción única)

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



Nº de votaciones: 38 (Opción única)

Focus Group: Principales resultados

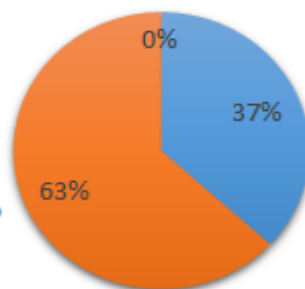
1) ¿Cuál debiese ser el público objetivo de plataforma? (Sin perjuicio de los estándares de transparencia del Estado)

■ 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

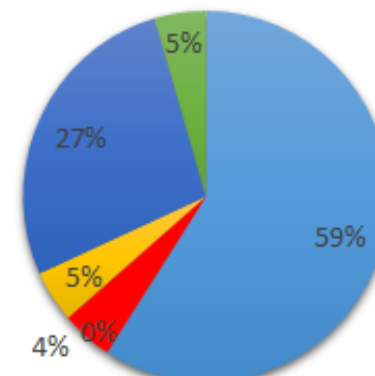
■ Comuna

■ 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

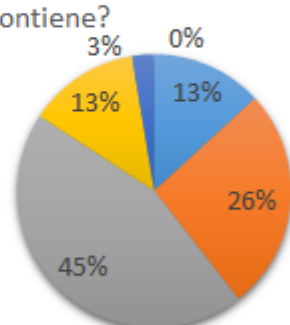
■ Mensual

■ Trimestral

■ Semestral

■ Anual

N° de votaciones:
38 (Opción única)



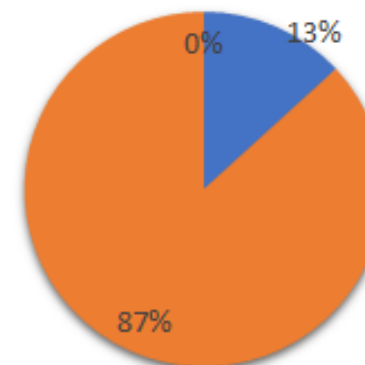
5) ¿Cuántos niveles de severidad o similar considera pertinente para definir una situación de escasez?

■ 2 (Normal, sequía extraordinaria)

■ 3 (Normal, sequía incipiente, sequía extraordinaria)

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

N° de votaciones: 38 (Opción única)



Índices de sequía

Índices estandarizados de sequía

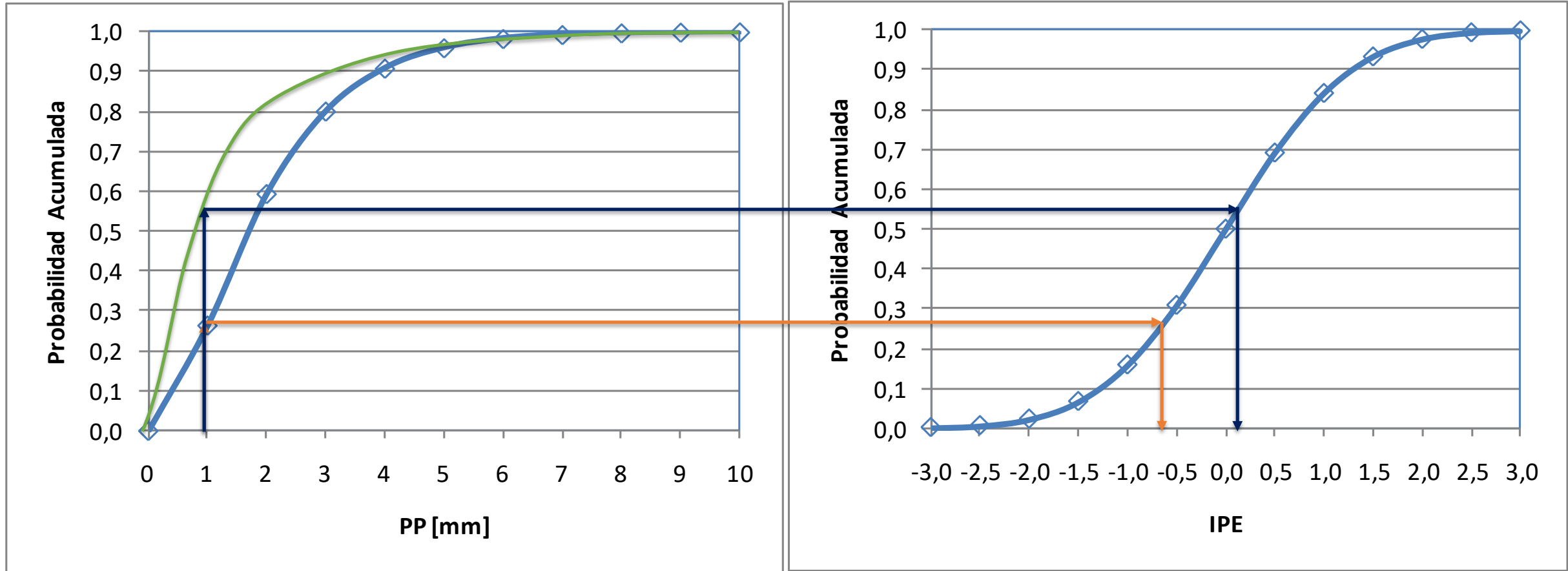
- Índice estandarizado: **valor numérico** que representa el número de **desviaciones estándar** de una variable, para un **periodo de acumulación**, respecto a la condición media.
- Aplicable a zonas extensas y de diferente condición climática, con un **criterio común** para cuantificar la ocurrencia de sequías.
- El clásico índice estandarizado es el IPE (índice de precipitación estandarizado, McKee et al., 1993).
- La metodología y concepto de IPE ha sido aplicado en otras **variables** como caudales (ICE) o el balance hídrico al incluir evapotranspiración (IPEE).

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

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 estandarizados de sequía



Transformación del valor de la variable de interés (P) en un valor del índice estandarizado (IPE)

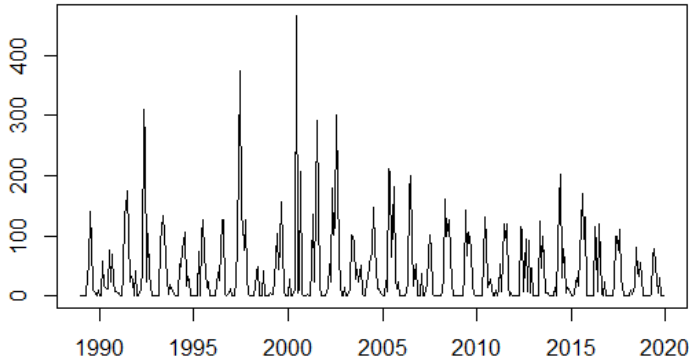
Hacia la actualización de los instrumentos técnicos

Índices estandarizados de sequía

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

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

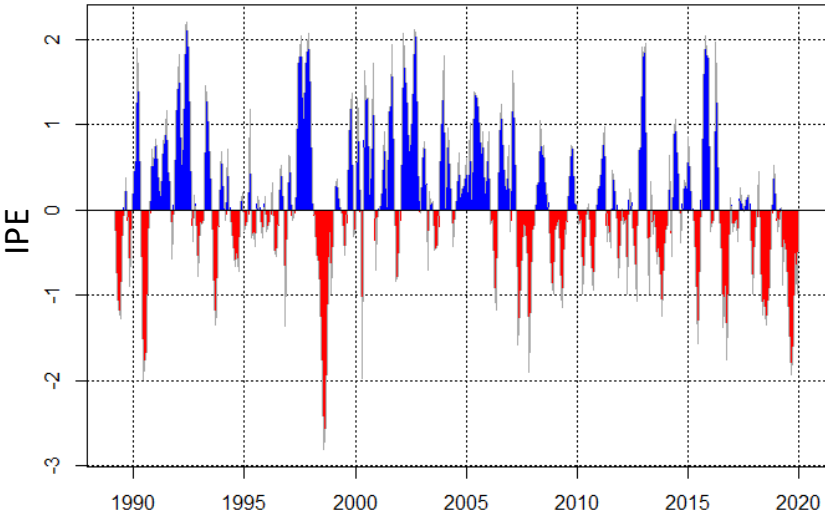
Diferentes periodos de acumulación



Registro Precipitación Potrero Grande

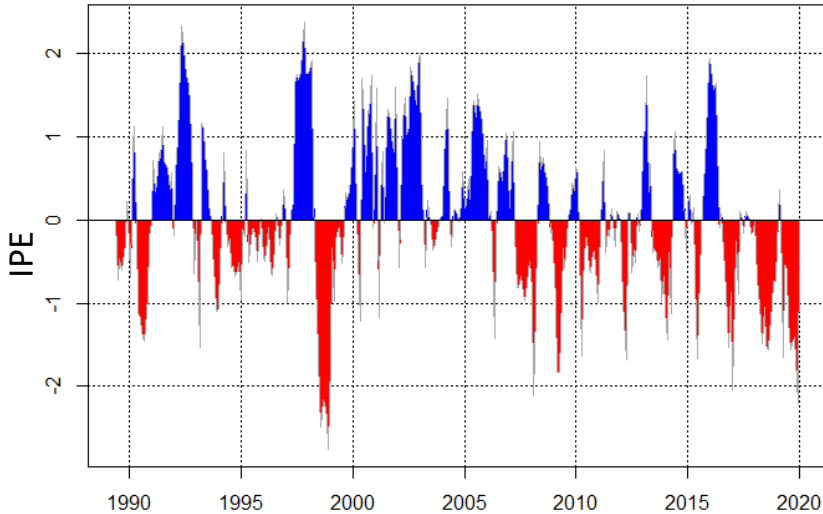
Año

3 meses de acumulación



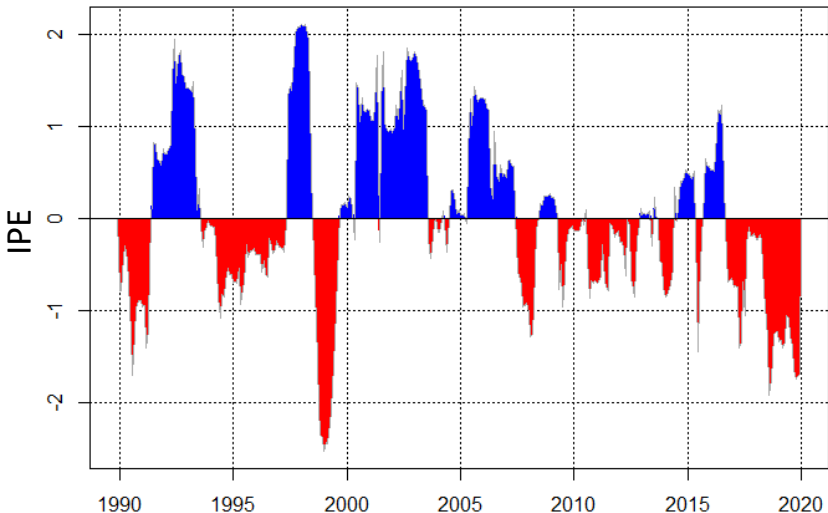
Año

6 meses de acumulación



Año

12 meses de acumulación



Año

ICE-6, comparación periodos de referencia

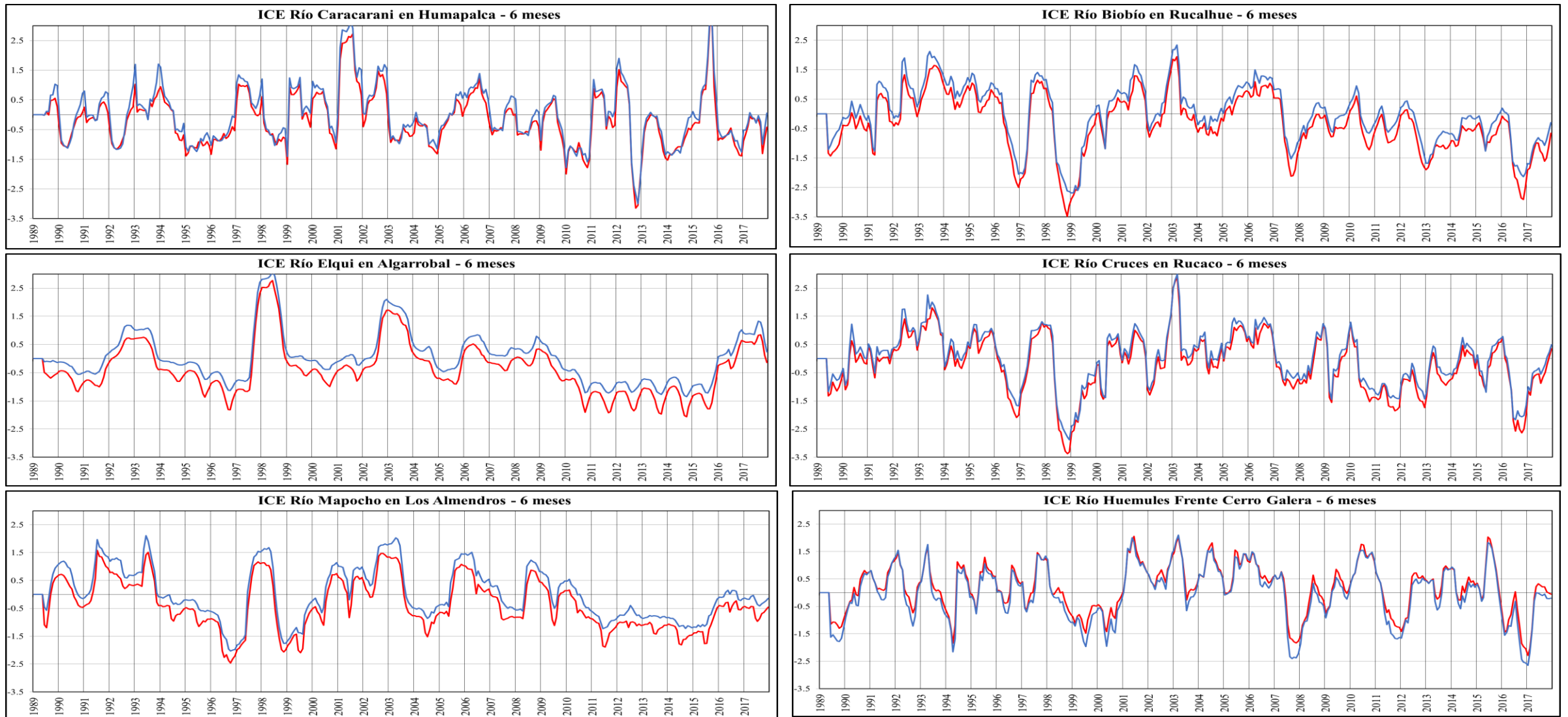


Figura 3.8: Serie de ICE de 6 meses para dos periodos de referencia en 6 estaciones DGA. Rojo 1979-2008, Azul 1989-2017.

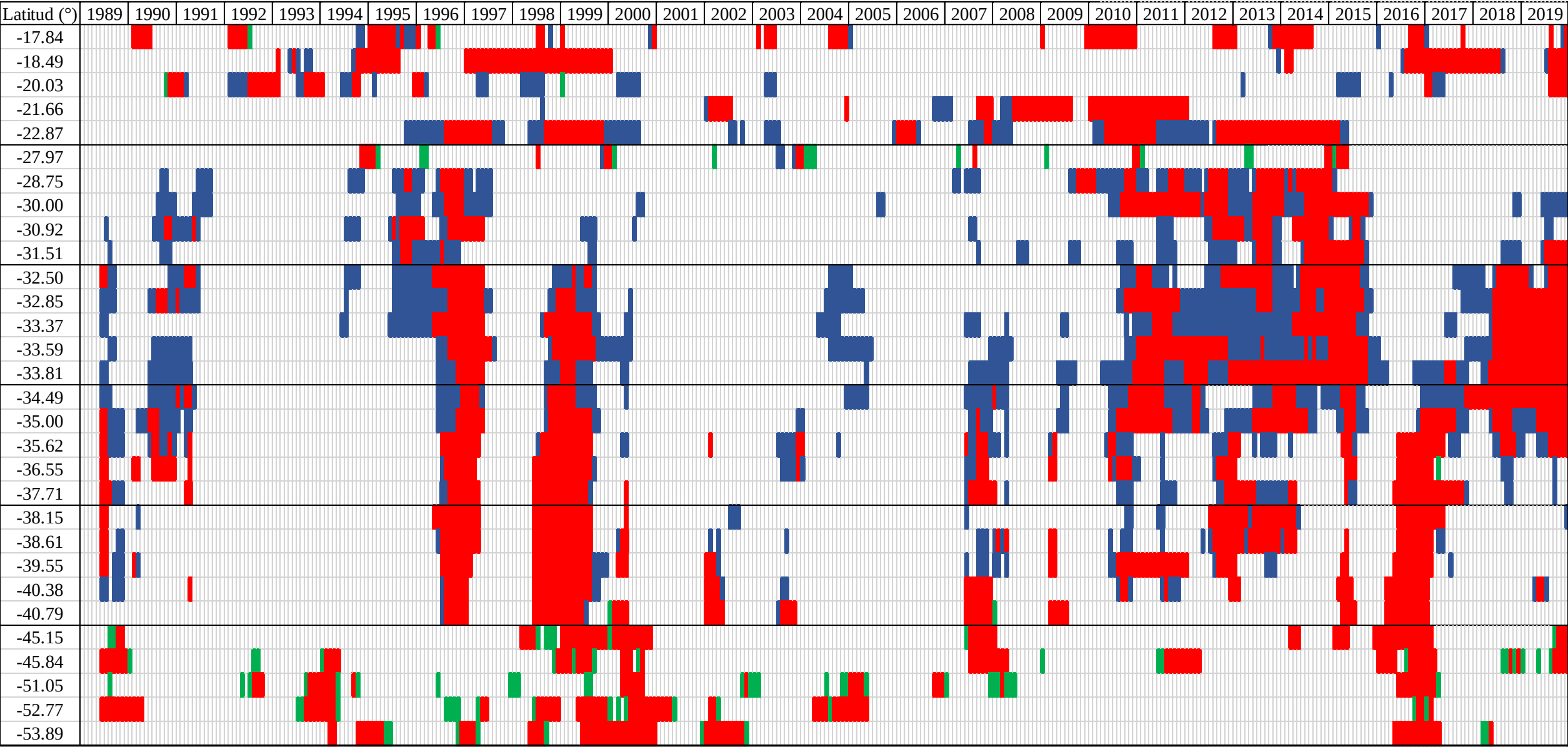
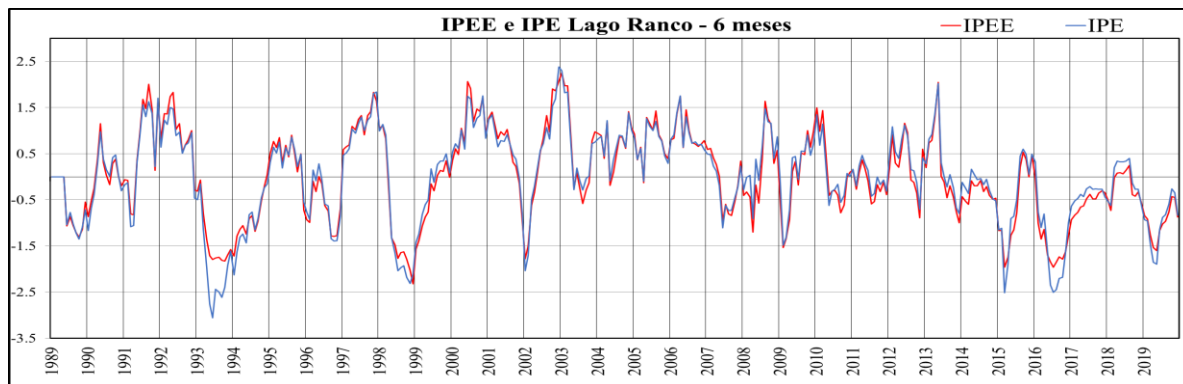


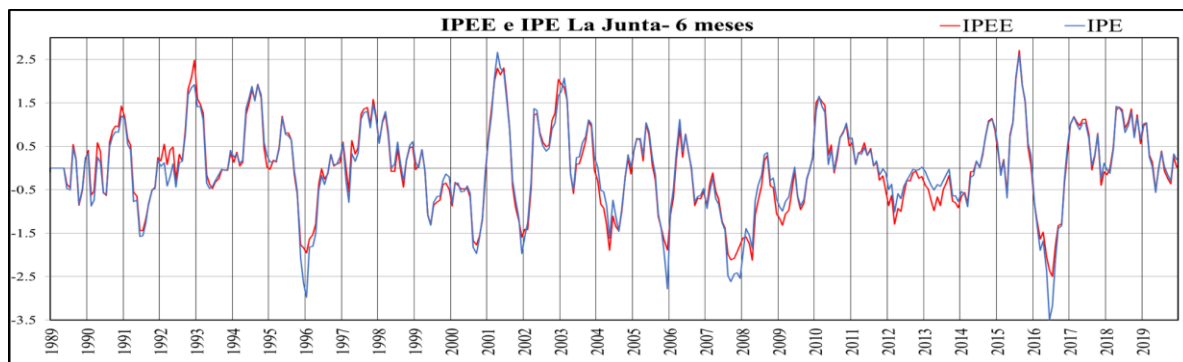
Figura 3.11: Congruencia entre los resultados generados por los periodos de referencia 1979-2008 y 1989-2019 para el ICE de 6 meses

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

Comparación IPE e IPEE en diferentes zonas



Macrozona sur



Macrozona austral

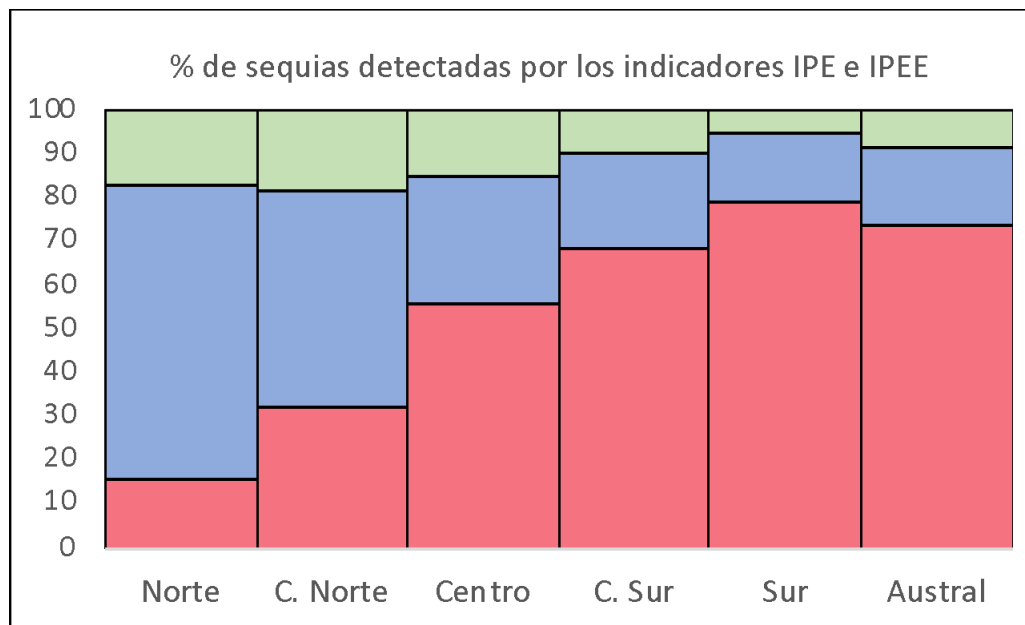


Figura 3.41: % de sequías detectadas en cada macro zona con el IPEE y el IPE. Rojo si con ambos indicadores se detecta sequía, azul si con el IPEE hay sequía y no con el IPE, y verde viceversa.

Recomendaciones básicas para la estimación de indicadores

- Emplear como **periodo de referencia los últimos 30 años**, que se debe revisar y poner al día cada 10 años. El nuevo periodo de referencia será **1991 - 2020**.
- Considerar una acumulación de 6 meses.
- Complementar registros de estaciones con información de CR2-MET para descripción del clima histórico.
- Incorporar IPEE formalmente en monitoreo y calificación de sequías.

Hacia un observatorio de sequías

Procedimientos en la operación de un observatorio

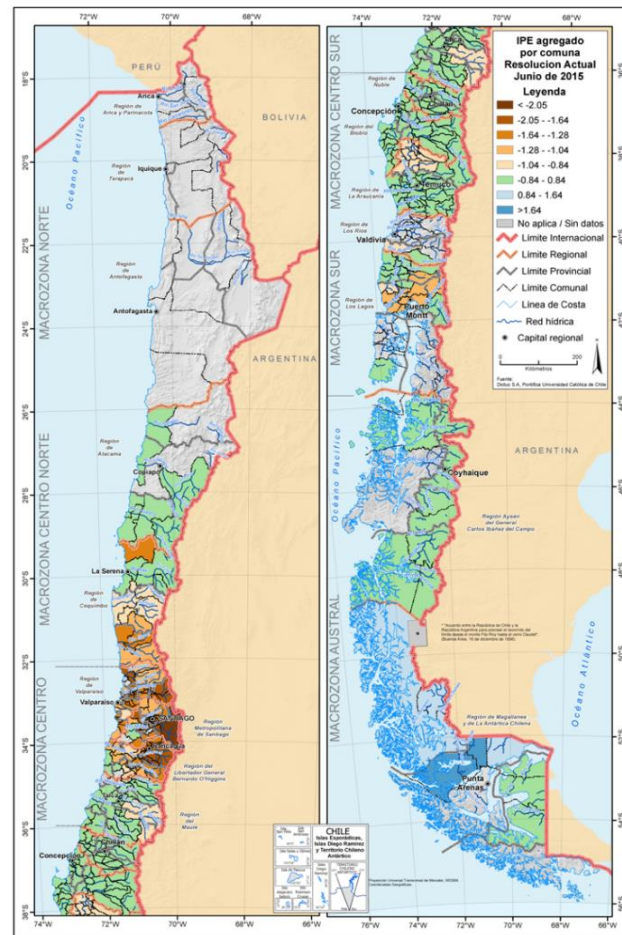
- Distintas opciones para cada uno de estos procesos relacionados con la cantidad de estaciones a considerar, la asignación de los indicadores calculados a las comunas, y los índices considerados.
- Alternativas:
 - Uso de estaciones básicas DGA, y asignación a las comunas del país
 - Uso de estaciones básicas DGA, y agregación territorial de interpolación espacial.
 - Uso de todas las estaciones DGA, y agregación territorial de interpolación espacial.
 - Uso de todas las estaciones DGA y DMC, y agregación territorial de interpolación espacial.

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

Alternativas para el monitoreo y visualización de condiciones de sequías

Caso 1



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, registros climáticos (CR2 Met), 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 abren oportunidades para una nueva resolución y otras acciones normativas (reglamento) que complementen el Art. 314.

Principales conclusiones

6. 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 la histórica
 - Produce la información para la calificación, así como los archivos para visualización en observatorio DGA
7. Se proponen distintas alternativas de bases para un observatorio de sequías

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.



dictuc
LABORATORIO DE HIDRÁULICA



Centro UC
Cambio Global



Centro UC
Derecho y Gestión
de Aguas

Antecedentes y herramientas recientes para el monitoreo y gestión de sequías en Chile: hacia la actualización de nuestros instrumentos técnicos y normativos

6 de agosto de 2021

XXIII Jornadas de Derecho y Gestión de Aguas

Jorge Gironás, Depto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, PUC.